

Maestría en Ciencias Marinas y Costeras
Universidad Nacional

 **REVMAR**
REVISTA CIENCIAS
MARINAS Y COSTERAS

ESJI Eurasian
Scientific
Journal
Index
www.ESJIndex.org



 SHERPA/ROMEO



MIAR

 **PERIÓDICA**
Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias

DAIJ
Directory of abstract indexing for Journals
www.daij.org

 Dialnet

e-revist@s

latindex

PROCIMAR
Programa de Maestría
en Ciencias Marinas y Costeras

Escuela de
Ciencias Biológicas

Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica


euna

Rector: Alberto Salom Echeverría

Comité Editorial Revista Ciencias Marinas y Costeras**Director**

Luis A. Villalobos Chacón Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica.

Editora

Nidya C. Nova Bustos Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica.

Miembros Nacionales

Ricardo Jiménez Montealegre Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica.
Luis M. Sierra Sierra Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica.
Maurizio Protti Quesada Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica.
Daniel A. Ballesterio Sakson Departamento de Física, Universidad Nacional, Costa Rica.
Jorge Cortés Núñez Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica.
Álvaro Morales Ramírez Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica.

Miembros Internacionales

Aida C. Hernández-Zanuy Instituto de Oceanología, Agencia de Medio Ambiente, CITMA, Cuba.
Pedro M. Alcolado Instituto de Oceanología, Agencia de Medio Ambiente, CITMA, Cuba.
Silvia Salas Márquez CINESTAV-Mérida, México.
José L. Carballo Cenizo Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM), México.
Gabriel Márquez Couturier Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
Juan Antonio Baeza Universidad Católica del Norte de Chile, Coquimbo, Chile.
M. Soledad Fuentes Postdoctoral Associate, National Oceanic and Atmospheric Administration.
Carlos Jara Instituto de Zoología, "Ernst F. Kilián", Universidad Austral de Chile.
Anelio Aguayo-Lobo Instituto Antártico Chileno. INACH.
Georgina A. Rivera-Ingraham Alfred-Wegener-Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Alemania.
Galdy Hernández Zárate Instituto Tecnológico de Boca del Río, Boca del Río, Veracruz, México.
Jorge Eduardo Zamora Castro Instituto Tecnológico de Boca del Río, Boca del Río, Veracruz, México.
Allyse Ferrara Department of Biological Sciences, Nicholls State University.
Quenton Fontenot Department of Biological Sciences, Nicholls State University.
Esteban Fernando Félix Pico Instituto Politécnico Nacional, CICIMAR-IPN, México.
Francisco J. Ocampo Torres Oceanografía Física, CICESE, Ensenada, México.
Néstor Hernando Ocampo CECIMAR, Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe, Santa Marta, Colombia.
Julio Lamilla Gómez Instituto de Zoología, Universidad Austral de Chile.

Consejo Editorial de la Universidad Nacional

M.Sc. Marybel Soto Ramírez Presidenta, Consejo Editorial
M.I. Erick Álvarez Ramírez
Dra. Shirley Benavides Vindas
M.L. Gabriel Baltodano Roman

Producción editorial: Alexandra Meléndez

578.77

R454r Revista Ciencias Marinas y Costeras / Maestría en Ciencias Marinas y Costeras y Escuela de Ciencias Biológicas. Heredia, C.R. : EUNA, 2009.
v.1: il. ; 25 cm.

ISSN 1659-455X
Semestral

1. BIOLOGÍA MARINA. 2. ECOLOGÍA EVOLUCIÓN.
3. OCEANOGRAFÍA. 4. RECURSOS MARINOS. 5.
GEOLOGÍA MARINA. 6. SEDIMENTOS MARINOS.
7. TAXONOMÍA. 8. BIOTECNOLOGÍA. 9.
CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS. I. Título.

Dirección postal para canje:**Revista Ciencias Marinas y Costeras**

Escuela de Ciencias Biológicas

Universidad Nacional

Apartado 86-3000, Heredia, Costa Rica.

Telefax: (506)2277-3438. Tel: (506)2277-3480

Página Web: www.una.ac.cr/revmar

Correo electrónico: revmar@una.ac.cr

revcienmarycos@gmail.com

CONTENIDO

Evaluación de la calidad del agua de los arrecifes del golfo de Cazones, sur de Cuba, a partir de algunos indicadores microbiológicos y químicos
Water quality assessment of reefs in the gulf of Cazones, southern Cuba, using microbiological and chemical indicators

Gladys Margarita Lugioyo, Daymarlen González e Ileana García.....9

Abundancia, biomasa y estructura de la ictiofauna demersal en el océano Pacífico de Centroamérica, basadas en datos de prospección pesquera realizados a bordo del B/O Miguel Oliver

Abundance, biomass, and structure of demersal ichthyofauna in the Pacific Ocean of Central America, based on fishery prospecting conducted on board the R/V Miguel Oliver

Rosario Benavides Morera, Fernando Campos Calderón y

José Mauro Vargas Hernández 27

Synchronized sexual reproduction of the seagrass *Syringodium filiforme* (Cymodoceaceae) in a tropical reef lagoon on the Caribbean coast of Costa Rica
Reproducción sexual sincronizada del pasto marino *Syringodium filiforme* (Cymodoceaceae) en la laguna de un arrecife tropical en la costa Caribe de Costa Rica

Jimena Samper-Villarreal, Margarita Loría-Naranjo, Brigitta I. van Tussenbroek & Jorge Cortés..... 49

Lista actualizada de la flora marina bentónica de cinco arrecifes coralinos del norte de Veracruz, México

Updated list of marine benthic flora from five coral reefs in northern Veracruz, Mexico

Vicencio de la Cruz-Francisco, Rosa Estela Orduña-Medrano y

Marlene González-González 69

***Nerocila acuminata* (Isopoda: Cymothoidae) como parásito de cápsulas ovígeras de *Rostroraja texana*: lista de hospederos conocidos**

***Nerocila acuminata* (Isopoda: Cymothoidae) as an egg capsule parasite of *Rostroraja texana*: list of known hosts**

Luis Fernando Del Moral-Flores, Luis Alfredo Sotelo-Sánchez y Manuel Ortíz 99

Batimetría derivada por satélite (sdb): una aproximación a la cartografía batimétrica con imágenes multispectrales en aguas poco profundas de Bahía Solano, Colombia
Satellite-derived bathymetry (SDB): an approach to bathymetric cartography with multispectral images in shallow waters of Bahía Solano, Colombia
Mauricio Alejandro Perea-Ardila y Fernando Oviedo-Barrero..... 117

Convenciones sociales y certificación de los productos pesqueros
Social conventions and certification of fishery products
Fernando González Laxe..... 135

Instrucciones a los autores 157

Presentación

La Universidad Nacional de Costa Rica tiene una trayectoria de casi 30 años en el campo de las Ciencias Marinas, elaborando documentos científicos, pero con limitadas opciones de proyección del conocimiento en el campo marino. En respuesta a la necesidad de ofrecer a los investigadores nacionales e internacionales un espacio de divulgación científica de alto nivel, de publicación anual y de amplia visión, surge la creación de la *Revista Ciencias Marinas y Costeras (REVMAR)*. El propósito de esta es incorporar publicaciones originales relacionadas con las ciencias marinas, tales como: biología, geología y ecología marina, evolución, sistemática y taxonomía de los organismos marinos, oceanografía, contaminación, pesquerías, maricultura, biotecnología marina, conservación y manejo integrado de los recursos marinos y costeros. La *REVMAR* se ofrecerá de forma impresa anualmente, con su correspondiente versión digital en su sitio web, elaborado convenientemente para esos efectos. La Revista cuenta con un Comité Editorial constituido por investigadores (as) de diferentes instituciones de América Latina, que tienen un gran prestigio intelectual en el campo de las ciencias marinas y costeras y son los (as) encargados (as) de velar por la calidad científica de los trabajos que se publiquen.

Evaluación de la calidad del agua de los arrecifes del golfo de Cazones, sur de Cuba, a partir de algunos indicadores microbiológicos y químicos

Water quality assessment of reefs in the gulf of Cazones, southern Cuba, using microbiological and chemical indicators

Gladys Margarita Lugioyo^{1}, Daymarlen González¹ e Ileana García¹*

RESUMEN

Los arrecifes coralinos constituyen uno de los ecosistemas más amenazados por los efectos de la actividad antrópica y el cambio climático, impactos a los cuales no escapan los arrecifes del Mar Caribe. El objetivo de la investigación fue la evaluación de la calidad del agua adyacente a los arrecifes del golfo de Cazones, S de Cuba, a partir de algunos indicadores microbiológicos y químicos. Se realizaron dos muestreos en épocas contrastantes, noviembre 2015 (invierno) y abril 2017 (verano), donde se tomaron 13 muestras de agua (cinco en las crestas y ocho en los arrecifes frontales). Los arrecifes más vulnerables, tomando en consideración los indicadores seleccionados microbiológicos y químicos de calidad de las aguas, fueron Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2), Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1) y Sur de la ensenada de Cazones (S-EC) (Nirvana), al presentar elevadas concentraciones de bacterias heterótrofas, de sulfato-reductoras, de vibrios y de materia orgánica (DQO). De acuerdo con la concentración de bacterias heterótrofas, el estado trófico de las aguas varió entre mesotróficas a meso-eutróficas y el sitio más deteriorado fue el oeste de la ensenada de Cazones (O-EC), seguido de este de la ensenada de Cazones (E-EC) y sur de la ensenada de Cazones (S-EC) lo que indica que las aguas adyacentes a esos arrecifes se mantienen enriquecidas de materia orgánica, tanto en las crestas como en los arrecifes frontales. Los resultados obtenidos deben servir de alerta, ya que existen condiciones para el deterioro paulatino de los arrecifes.

Palabras clave: Calidad, bacterias, hidroquímica, arrecifes, ecosistema.

ABSTRACT

Coral reefs are some of the most threatened ecosystems due to the anthropogenic activity and climate change, from which the Caribbean Sea reefs have not escaped. The objective of this paper was to assess the quality of the waters adjacent to the reefs of the Gulf of Cazones, southern

1 Instituto de Ciencias del Mar (ICIMAR), calle Loma # 14, entre 35 y 37, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba. margarita@icimar.cu* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7517-8063>, mimi@icimar.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4653-1347>, ileana@icimar.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2229-3767>.

Cuba, using certain microbiological and chemical indicators. Two samplings were conducted in contrasting seasons, November 2015 (winter) and April 2017 (summer), where 13 water samples were taken (five on the ridges and eight on the front reefs). The most vulnerable reefs to environmental deterioration in both seasons, taking into consideration the microbiological and chemical indicators, were Southeast of Cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2), Southeast of Cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1), and South of Cazonos Cove (S-EC) (Nirvana), since they had high concentrations of heterotrophic and sulphate-reducing bacteria, vibrio, and organic matter (COD). Based on the heterotrophic bacteria concentration, the trophic state of the waters ranged from mesotrophic to meso-eutrophic and the most deteriorated site resides at the West of the Cazonos cove (O-EC), followed by the East of the Cazonos cove (E- EC) and South of the Cazonos cove (S-EC). This indicates that the waters surrounding these reefs are enriched with organic matter, both on the ridges and on the frontal reefs. The results obtained should serve as a warning because conditions exist for the gradual deterioration of these coral reefs.

Keywords: Quality, bacteria, hydrochemicals, reef, ecosystem.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos son invaluable por su importancia ecológica, social y económica. Especialmente relevantes son los servicios ecosistémicos que brindan: fuentes de recursos alimenticios, amortiguadores de la erosión costera, barreras naturales para la protección contra fenómenos meteorológicos extremos, turismo (Spalding *et al.* 2017; Thampi *et al.* 2018). Sin embargo, en los últimos años se ha reconocido que los arrecifes coralinos constituyen uno de los ecosistemas más amenazados por los efectos de la actividad antrópica y el cambio climático (Harvey *et al.* 2018; Williams *et al.* 2019).

Alcolado *et al.* (2010) refieren que investigaciones de la última década sobre la salud de los arrecifes del Caribe (Aronson & Pretch,

2001; Gardner *et al.* 2003) indican un deterioro de este ecosistema y lo atribuyen a los efectos de presiones locales y regionales entre los que se encuentran la contaminación y la sobrepesca (Ginsburg & Glynn, 1994; Hoegh-Guldberg *et al.* 2007; Jackson *et al.* 2014), el incremento de la temperatura (Eakin *et al.* 2010; Hughes *et al.* 2010), la acidificación de los océanos (Kleypas & Hoegh-Guldberg, 2008; Hughes *et al.* 2018; Pandolfi *et al.* 2005), además de las consecuencias propias del cambio climático (Weijerman *et al.* 2018).

Las investigaciones realizadas sobre la calidad ambiental y estado de “salud” de los ecosistemas arrecifales en Cuba demostraron que algunos arrecifes se encontraban afectados debido a varios fenómenos, entre los que se destacan la nutrificación, la incidencia de enfermedades, así como la

acción nociva de las altas temperaturas (Miravet, 2003; Alcolado *et al.* 2010).

En los ecosistemas marinos, las bacterias heterótrofas constituyen un componente esencial en la trama trófica; estas, a través de su interacción con otros niveles, modifican los ambientes y controlan el reciclaje de nutrientes (Pucci *et al.* 2009). Teniendo en cuenta el rol ecológico de las bacterias heterótrofas en el medio marino, actualmente es reconocida la posibilidad de utilizarlas como indicadoras microbiológicas para evaluar la calidad ambiental de los ecosistemas y la detección de condiciones ambientales desfavorables.

Los vibrios es otro grupo bacteriano que puede ser usado como indicador de calidad de las aguas, ya que su distribución está influenciada por gradientes medioambientales como temperatura, salinidad, disponibilidad de nutrientes y factores biológicos, por ejemplo, depredación y abundancia de dinoflagelados y hospedadores (Thompson & Polz, 2006). Al respecto, diversos estudios estuarinos y costeros de diferentes partes del mundo han demostrado que la temperatura y salinidad juegan funciones importantes en el desarrollo del *V. cholerae* (Jiang, 2001).

Las bacterias sulfatoredutoras, si bien son microbiota normal en ambientes con niveles bajos de oxígeno disuelto o anóxicos, como pueden ser los sedimentos marinos, cuando son detectadas en ecosistemas como los

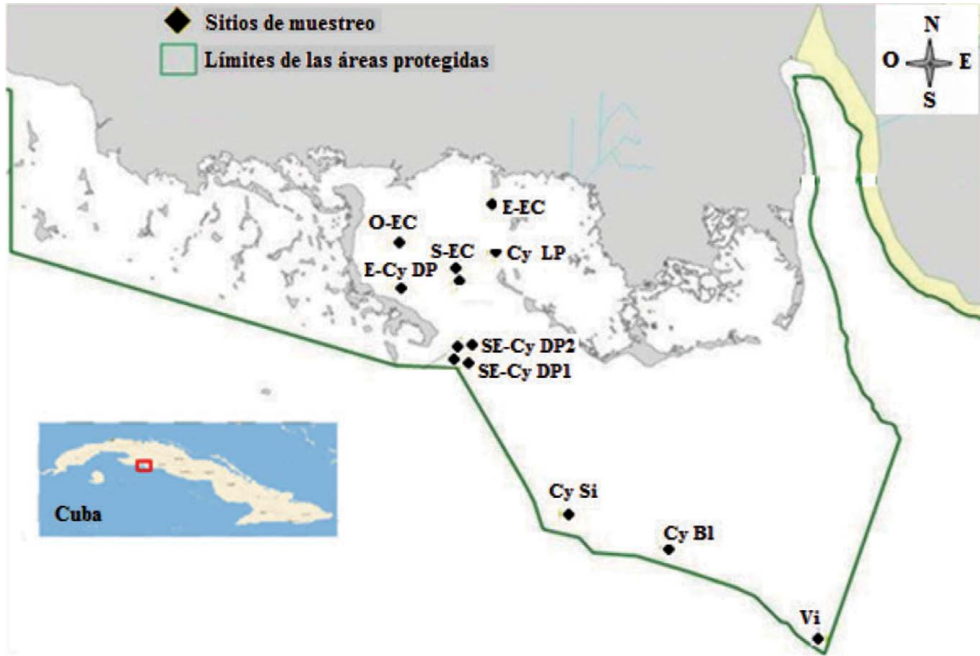
arrecifes coralinos, son indicadoras de deterioro de la salud.

En Cuba, desde el punto de vista microbiológico, solo se habían realizado investigaciones de calidad de las aguas en los arrecifes del sur oeste (SW) (Miravet, 2003) y en el archipiélago Sabana-Camagüey, ubicado en la zona norcentral de Cuba (Miravet *et al.* 1994). Sin embargo, en la zona en estudio no existían antecedentes de investigaciones microbiológicas y dada la importancia que reviste la calidad del agua para la conservación de los arrecifes, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad de las aguas aledañas a los arrecifes coralinos del golfo de Cazones empleando algunos indicadores microbiológicos y químicos de respuesta rápida.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de trabajo se ubica en el golfo de Cazones que se encuentra dentro de las áreas marinas protegidas de la Ciénaga de Zapata. Los arrecifes del golfo de Cazones se caracterizan por crestas y arrecifes frontales pequeños y con aislados cabezos de coral sobre un sustrato de arena entre 3 m y 10 m de profundidad. A partir de los 10 m de profundidad se desarrolla un fondo de camellones y canales de arena, los cuales, con el aumento de la profundidad, incrementan en relieve (Rey-Villiers, 2016).

Se realizaron dos muestreos en épocas contrastantes, uno en noviembre del 2015 (invierno) y otro en abril del 2017 (verano), donde se tomaron 13 muestras de agua (cinco en las crestas y ocho en los arrecifes frontales) (Fig. 1).



Crestas arrecifales del golfo de Cazones

Sitios	Siglas	Latitud N	Longitud O
Sur de la ensenada de Cazones	S-EC	22° 5.931'	81° 31.160'
Sureste de cayo Diego Pérez 2	SE-Cy.DP2	22° 2.163'	81° 30.876'
Sureste de cayo Diego Pérez 1	SE-Cy.DP1	22° 1.297'	81° 30.952'
Cayo Sigua	Cy.Si	21° 53.460'	81° 25.051'
Vizcaínos	Vi	21° 47.094'	81° 10.859'

Arrecifes frontales del golfo de Cazones

Este de la ensenada de Cazones	E-EC	22° 09.400'	81° 29.098'
Cayo Los Pinos	Cy.LP	22° 06.898'	81° 29.027'
Oeste de la ensenada de Cazones	O-EC	22° 07.431'	81° 34.286'
Sur de la ensenada de Cazones	S-EC	22° 05.753'	81° 31.055'
Este de cayo Diego Pérez	E-Cy.DP	22° 05.099'	81° 34.397'
Sureste de cayo Diego Pérez 2	SE-Cy.DP2	22° 02.164'	81° 30.517'
Sureste de cayo Diego Pérez 1	SE-Cy.DP1	22° 01.253'	81° 30.621'
Cayo Blanco	Cy.BI	21° 51.748'	81° 19.454'

Fig. 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el golfo de Cazones

Fig. 1. Location of sampling stations in the Gulf of Cazones

Para el análisis microbiológico se colectaron muestras de agua aleadaña a las crestas arrecifales y a los arrecifes frontales, mediante buceo autónomo y con el empleo de frascos de vidrio estériles de 250 mL de capacidad. Las muestras fueron conservadas en refrigeración por no más de 4 h hasta el procesamiento en el laboratorio de la embarcación.

La concentración de bacterias heterótrofas (BH), como indicadora de materia orgánica en agua, se determinó a partir de la siembra por diseminación en placas Petri con el empleo del medio de cultivo ZoBell 2216E (APHA, 2012) y el medio Agar TCBS para los conteos de vibrios. Las placas fueron incubadas a temperatura ($28 \pm 2^\circ\text{C}$) y se realizaron los conteos de las unidades formadoras de colonias durante tres días consecutivos (Miravet *et al.* 2009).

La determinación de bacterias sulfatoreductoras, indicadoras de condiciones anóxicas, solo se realizó en el agua de los micronichos de las crestas, para ello se empleó medio API y se siguió la metodología de tubos múltiples (Miravet *et al.* 2009). Las muestras fueron incubadas a $28 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 21 días. Para el cálculo de la concentración de estas bacterias se usó la Tabla de NMP (APHA, 2012).

El estado trófico de las aguas se determinó a partir de los rangos de concentración de bacterias heterótrofas propuestos por Miravet *et al.* (2009).

Las muestras para la determinación de materia orgánica fueron almacenadas en frascos de 1L a -10°C y procesadas posteriormente en el laboratorio. Se estimó la demanda química de oxígeno (DQO) por oxidación de la materia orgánica con permanganato de potasio en medio alcalino (APHA, 2012).

Para determinar si existían diferencias entre las concentraciones de bacterias heterótrofas y de vibrios entre las crestas y los arrecifes frontales de una misma zona, se empleó el análisis permutacional de varianza (PERMANOVA) (Anderson & Millar, 2004; Anderson *et al.* 2008). Los factores que se tuvieron en consideración fueron las crestas y de arrecifes frontales.

RESULTADOS

Las concentraciones de bacterias heterótrofas (BH) en el golfo de Cazones en noviembre del 2015 (época de invierno), oscilaron entre 1.1×10^3 y 20.4×10^3 UFC $\cdot\text{mL}^{-1}$ (Fig. 2A y B). La concentración de bacterias heterótrofas más baja en cresta se registró en la estación Vizcaínos (Vi), mientras en el sur de la ensenada de Cazones se encontró el valor más elevado de 7.2×10^3 UFC/ mL (Fig. 2A). En los arrecifes frontales las concentraciones más bajas de bacterias heterótrofas se obtuvieron en el sitio de Cayo Los Pinos (Cy.LP) y en sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2); los valores más elevados de BH se encontraron en el

este de cayo Diego Pérez (E-Cy.DP) y al oeste de la ensenada de Cazonos (O-EC) con concentraciones de 20.4×10^3 y 10.1×10^3 UFC/ mL, respectivamente (Fig. 2A). Coincidentemente, en los

sitios E-Cy.DP y O-EC se mostraron elevadas concentraciones de materia orgánica con valores de DQO de 5.48 y 6.72 mg/L, respectivamente.

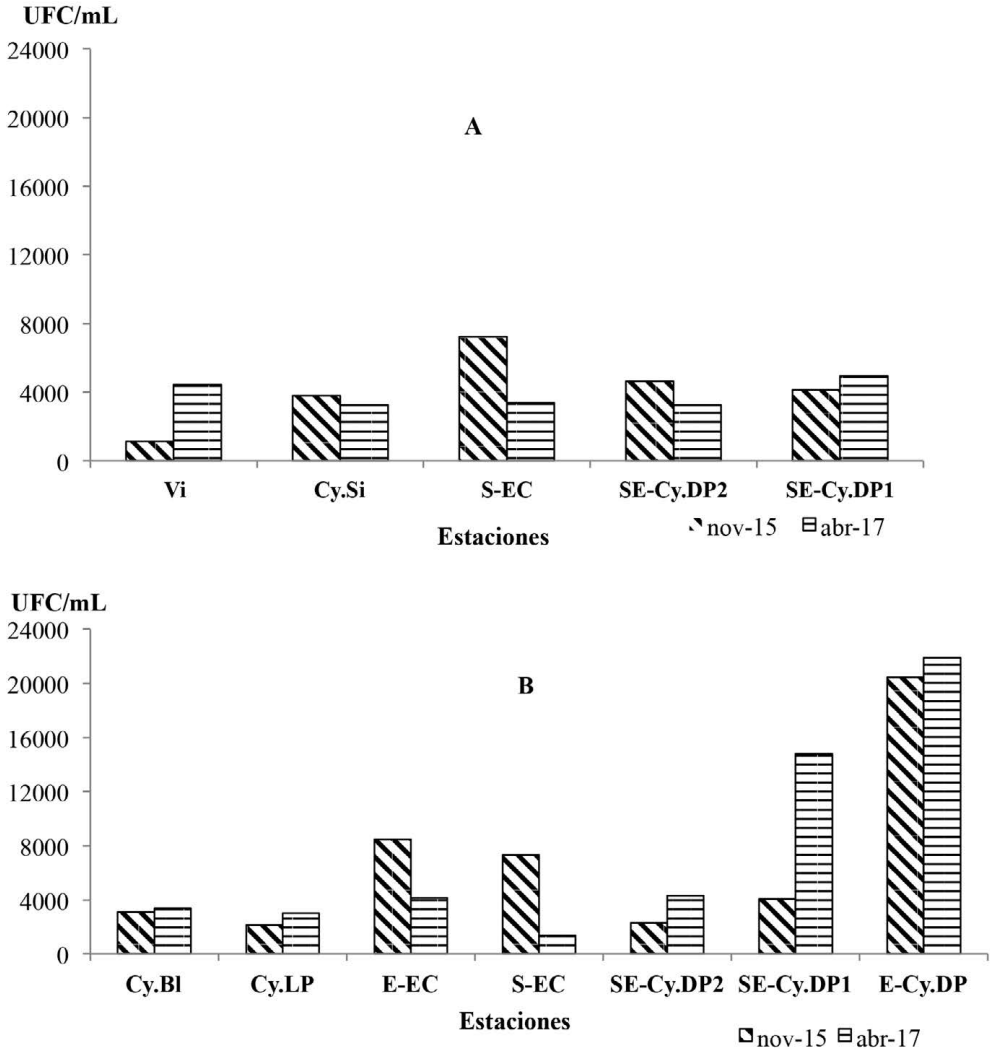


Fig. 2. Concentración de las bacterias heterótrofas (BH) en los sitios ubicados en las crestas arrecifales (A) y los arrecifes frontales (B) en el golfo de Cazonos

Fig. 2. Heterotrophic bacteria concentration (BH) of the sites located on the reef crests (A) and the frontal reefs (B) in the Gulf of Cazonos

Por su parte, las concentraciones de BH en abril del 2017 oscilaron entre 1.3×10^2 y 14.7×10^3 UFC/ mL (Fig. 2A y B). La concentración de bacterias heterótrofas, en general, fue más baja en cresta en relación con los arrecifes frontales. La mayor concentración se verificó en el sitio ubicado al este de cayo Diego Pérez (E-Cy.DP), seguida del sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1) ambos localizados en el arrecife frontal (Fig. 2B). Los menores valores de BH se encontraron en el sur de la ensenada de Cazones (S-EC) en el arrecife frontal.

En general, en ambos muestreos se observó que en los arrecifes frontales las concentraciones de BH fueron superiores respecto a las crestas arrecifales (Fig. 2A y B).

En invierno (noviembre 2015), las concentraciones de vibrio en los arrecifes, incluyendo las crestas y los arrecifes frontales, oscilaron entre 10 y 7000 UFC/ mL. En las crestas las mayores concentraciones de vibrio se encontraron en las estaciones sur de la ensenada de Cazones (S-EC) (7 000 UFC/ mL) y SE-Cy.DP2 (sureste de cayo Diego Pérez 2) (1 250 UFC/ mL), mientras en los arrecifes frontales en las estaciones sur de la ensenada de Cazones (S-EC) (1 585 UFC/ mL) y sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2) (1 550 UFC/ mL). Por su parte, en abril 2017 (época de verano), las concentraciones de vibrio variaron entre 40,6 y 1912 UFC/mL y resultaron, en general, inferiores a las obtenidas en noviembre del 2015 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración de vibrios en los sitios de los arrecifes del golfo de Cazones en noviembre 2015 y abril 2017

Table 1. Vibrio concentration in the Gulf of Cazones reefs in November 2015 and April 2017

Ubicación de los sitios	Concentración de vibrios (UFC/ mL)	
	Noviembre 2015	Abril 2017
Crestas arrecifales		
Vizcainos (Vi)	197	59
Cayo Sigua (Cy.Si)	10	41
Sur de la ensenada de Cazones (S-EC)	7 000	1 912
Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)	1 250	263
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)	77	267
Arrecifes frontales		
Cayo Blanco (Cy.Bl)	852	312
Cayo Los Pinos (Cy.LP)	10	270
Este de la ensenada de Cazones (E-EC)	20	173
Sur de la ensenada de Cazones (S-EC)	1 585	1 221
Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)	1 550	700
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)	355	151
Oeste de la ensenada de Cazones (O-EC)	25	118
Este de cayo Diego Pérez (E-Cy.DP)	415	312

Es de destacar que, tanto en cresta como en arrecifes frontales, la mayor concentración de vibrios se encontró en el sitio ubicado al sur de la ensenada de Cazonos (S-EC) en ambos muestreos (Cuadro 1).

Al realizar el análisis de PERMANOVA no se hallaron diferencias significativas de la concentración de BH (Pseudo-F de 1.1201 y P (perm) 0.34) y de vibrios (Pseudo-F de 1.0571 y P (perm) 0,398) ni entre las

estaciones de crestas y arrecifes frontales del golfo de Cazonos.

En las crestas, el análisis de la contribución relativa de los vibrios a la concentración total de bacterias heterótrofas evidenció que, en general, en ambos muestreos el porcentaje de vibrios fue bajo en todos los sitios, con excepción de la estación ubicada al sur de la ensenada de Cazonos (S-EC) que en noviembre 2015 fue de 96.8% y de 56.7% en abril 2017 (Fig. 3A y B).

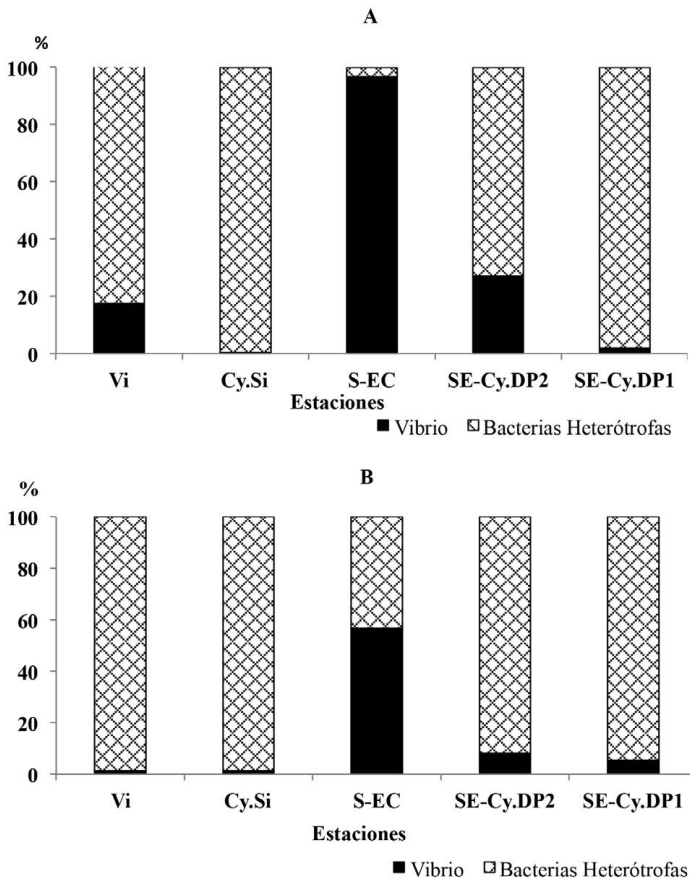


Fig. 3. Contribución relativa de la concentración de vibrios al total de bacterias heterótrofas en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos. A: noviembre 2015, B: abril 2017

Fig. 3. Relative contribution of vibrio to the total heterotrophic bacteria concentration on the reef crest in the Gulf of Cazonos. A: November 2015, B: April 2017

En relación con la contribución de los vibrios en los arrecifes frontales, en noviembre del 2015 se destacan los sitios sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2) con 67.4% seguidos de Cayo Blanco (Cy.BI) (27.6%) y sur de

la ensenada de Cazones (S-EC) con una contribución de 21.7% (Fig. 4A). En abril del 2017 las estaciones que más contribuyeron los vibrios al total de BH fueron la S-EC con 89.6% y la SE-Cy.DP2 con 16.2% (Fig. 4B).

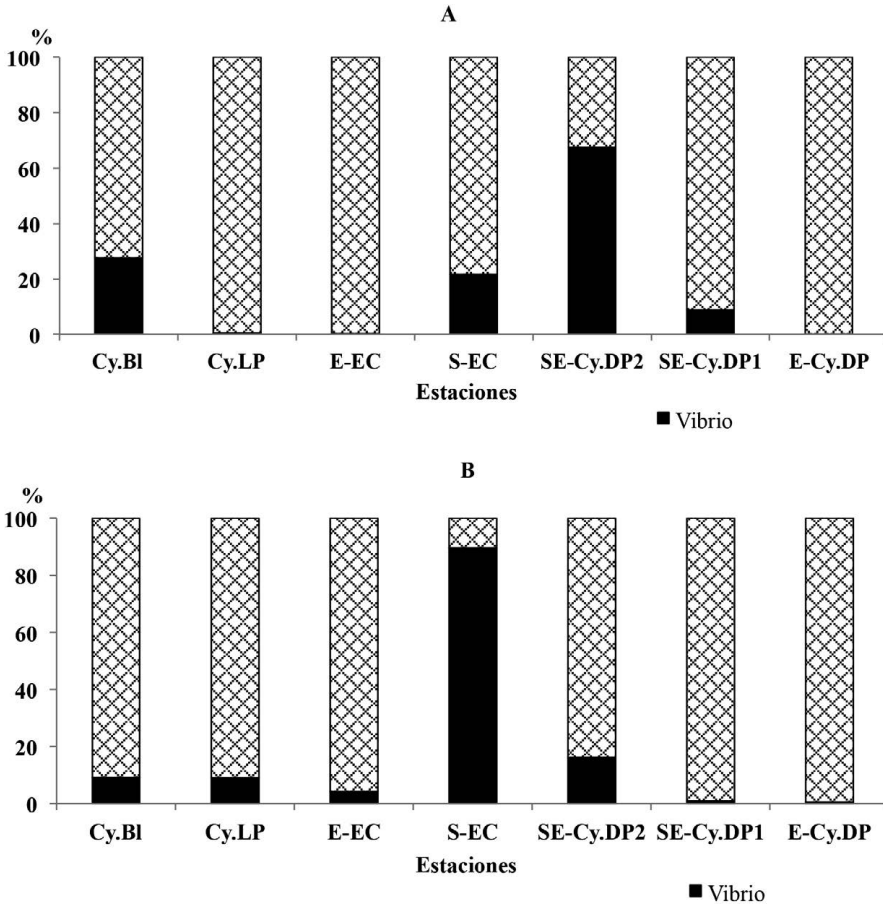


Fig. 4. Contribución relativa de la concentración de vibrios al total de bacterias heterótrofas en los arrecifes frontales del golfo de Cazones. A: noviembre 2015, B: abril 2017

Fig. 4. Relative contribution of vibrio to the total heterotrophic bacteria concentration on the frontal reefs in the Gulf of Cazones. A: November 2015, B: April 2017

En todos los sitios de crestas arrecifales se obtuvo crecimiento de bacterias sulfatorreductoras en los micronicos muestrados, en las dos épocas. En el análisis por muestreo se encontró que en noviembre 2015, las concentraciones de BSR fueron elevadas variando entre 210-2400 NMP/100mL⁻¹. Sin embargo, en abril 2017 las concentraciones fueron relativamente bajas (0.2 y 75 NMP/100mL⁻¹) (Cuadro 2). Las estaciones donde se encontraron las mayores concentraciones de BSR fueron cayo Sigua (Cy.Si) (2 400 NMP/mL) y sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1) (2 400 NMP/mL) seguida de sureste de

cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2) (1 100 NMP/mL), en el mes de noviembre 2015 (Cuadro 2).

Este resultado indica la presencia de micronicos con condiciones de anaerobiosis, ya que las BSR se desarrollan en ausencia de oxígeno y, aunque son bajas las concentraciones encontradas, debe servir de alerta para el buen estado de salud de esos arrecifes. Sin embargo, todos los sitios de los arrecifes frontales presentaron valores adecuados de BSR. En los arrecifes frontales no se detectaron BSR en ninguno de los dos muestreos realizados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración de bacterias sulfatorreductoras (BSR) en los micronicos de los arrecifes del golfo de Cazonos (noviembre 2015 y abril 2017)
 Table 2. Concentration of sulphate-reducing bacteria in the micro niches on the Gulf of Cazonos reefs (November 2015 and April 2017)

Ubicación de los sitios	Concentración de BSR (NMP/100 mL)	
	noviembre 2015	abril 2017
Crestas arrecifales		
Vizcainos (Vi)	750	<0.3
Cayo Sigua (Cy.Si)	2 400	39
Sur de la ensenada de Cazonos (Nirvana) (S-EC)	210	75
Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)	1 100	30
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)	2 400	11
Arrecifes frontales		
Cayo Blanco (Cy.Bl)	<0.2	<0.2
Cayo Los Pinos (Cy.LP)	<0.2	<0.2
Este de la ensenada de Cazonos (E-EC)	<0.2	<0.2
Sur de la ensenada de Cazonos (S-EC)	<0.2	<0.2
Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)	<0.2	<0.2
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)	<0.2	<0.2
Oeste de la ensenada de Cazonos (O-EC)	<0.2	<0.2
Este de cayo Diego Pérez (E-Cy.DP)	<0.2	<0.2


Al analizar el estado trófico de las aguas a partir de la concentración de bacterias heterótrofas, en ambos muestreos se encontró que la clasificación varió entre mesotrófica a meso-eutrófica (Cuadro 3). Es importante señalar que en los sitios evaluados de las crestas arrecifales en el golfo de Cazones en noviembre del 2015, el 80% de las estaciones se clasificaron como mesotróficas, y en los arrecifes

frontales el 63%. En abril del 2017, todos los sitios de las crestas se clasificaron como mesotróficos y en los arrecifes frontales solo el 25% como meso-eutrófico (Cuadro 3). Los resultados anteriores sugieren que las aguas aledañas a los arrecifes del golfo de Cazones se mantienen enriquecidas de materia orgánica, tanto en las crestas como en los arrecifes frontales.

Cuadro 3. Estado trófico de las aguas de los arrecifes del golfo de Cazones a partir de la clasificación basada en la concentración de bacterias heterótrofas (Miravet *et al.* 2009)

Table 3. Trophic state of the waters of the Gulf of Cazones reefs based on the heterotrophic bacteria concentration classification (Miravet *et al.* 2009)

Ubicación de los sitios	Clasificación del estado trófico	
	noviembre 2015	abril 2017
Crestas arrecifales		
Vizcaínos (Vi)	1 133	4 454
Cayo Sigua (Cy.Si)	3 800	3 242
Sur de la ensenada de Cazones (S-EC)	7 233	3 375
Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)	4 633	3 242
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)	4 133	4 939
Arrecifes frontales		
Cayo Blanco (Cy.Bl)	3 087	3 364
Cayo Los Pinos (Cy.LP)	2 133	3 000
Este de la ensenada de Cazones (E-EC)	8 467	4 159
Sur de la ensenada de Cazones (S-EC)	7 300	1 364
Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)	2 300	4 318
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)	4 050	14 788
Oeste de la ensenada de Cazones (O-EC)	20 435	21 879
Este de cayo Diego Pérez (E-Cy.DP)	3 087	3 364

	<p>Clasificación</p> <p>Mesotróficas</p> <p>Meso-eutróficas</p> <p>Eutróficas</p>	<p>UFC/mL</p> <p>80.1 - 6 500.0</p> <p>6 500.1 - 27 000.0</p> <p>27 000.1 - 120 000.0</p>
---	--	--

DISCUSIÓN

En los arrecifes de coralinos, las comunidades microbianas desempeñan un papel importante en la remineralización de los componentes orgánicos a inorgánicos, así como en la transferencia de energía a otros niveles tróficos (Henschke *et al.* 2016; Kirchman, 2000; Pucci *et al.* 2009). De hecho, algunos estudios informan que los microorganismos heterótrofos reciclan más de la mitad de la productividad neta en estos ecosistemas (Cho & Azam, 1990; Motegi *et al.* 2013; Nelson *et al.* 2011).

Según van Duyl & Gast (2001), aunque existe escasa información sobre el proceso de mineralización en el ecosistema arrecifal, se reconoce que la descomposición de la materia orgánica en los arrecifes ocurre con rapidez, ya que el flujo neto de materia orgánica en este ecosistema es generalmente pequeño.

La abundancia de bacterias que rodean los arrecifes está fuertemente influenciada por el movimiento de las aguas, el tiempo de residencia de estas sobre las crestas, el grado de depredación que sufren las bacterias, lo que a su vez se relaciona con la presencia y abundancia de otros organismos y la producción de mucus y materia orgánica que tiene lugar por los corales y los organismos que viven asociados a estos (Gast, 1998). Esto significa que la aparición de gradientes de

concentración de bacterias en diferentes sitios del arrecife puede depender, en gran medida, del grado de cobertura que presente el ecosistema en el momento del muestreo y, además, de la entrada de materia orgánica de origen antrópico que pueda ocurrir de manera eventual por diferentes causas.

En general, las concentraciones de BH encontradas, tanto en las crestas como en los arrecifes profundos del golfo de Czones, en el muestreo de abril del 2017, resultaron inferiores a las informadas para la misma zona en noviembre del 2015. No obstante, los resultados de abril 2017 confirman la disponibilidad de materia orgánica en las aguas aledañas, ya que estas bacterias, para su crecimiento y duplicación necesitan la materia orgánica. De hecho, las altas concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO) detectadas en el golfo de Czones pudieran estar asociadas a materia orgánica que proviene del aporte de la plataforma del golfo de Batabanó y por el escurrimiento superficial y subterráneo de la ciénaga de Zapata (Lluis-Riera, 1983; Petrova *et al.* 2007), además del sistema de corrientes que entrapa la materia orgánica y a los microorganismos (Arriaza *et al.* 2012; Lugioyo, 2003) y, a partir del metabolismo autótrofo y por la muerte de los organismos de estos ecosistemas arrecifales. También se debe tener en cuenta el aporte de materia orgánica procedente de los tapetes

de cianobacterias que se encontraron en los arrecifes coralinos del golfo de Cazones. [Brocke *et al.* \(2015\)](#) cuantificaron los aportes de carbono orgánico disuelto (COD) por las cianobacterias para arrecifes coralinos del Caribe e informaron que estas liberan entre 0.4 y 1 mg C/m²/d.

En general, los arrecifes del golfo de Cazones presentaron concentraciones de materia orgánica (DQO) superiores a la unidad y en algunos sitios los valores alcanzaron cifras entre 2.24 y 6.72 mg/L, que llegaron hasta los 10.88 mg/L ([Loza *et al.* \(2017\)](#)). Estas elevadas concentraciones de materia orgánica contribuyeron al elevado estado trófico de las aguas que los rodean, cuyas características van desde mesotróficas hasta meso-eutróficas. Los máximos puntuales de DQO obtenidos en los arrecifes del golfo de Cazones superaron los valores informados para los arrecifes del golfo de Batabanó por [Miravet \(2003\)](#) y en el archipiélago Sabana-Camagüey (ASC) por [Montalvo *et al.* \(2013\)](#).

Los resultados obtenidos en los arrecifes del golfo de Cazones confirman lo referido por [Williams \(2000\)](#), quien planeó que la mayor o menor abundancia de bacterias heterótrofas constituye un indicador de la cantidad de materia orgánica presente, relación que establece un nexo entre la cantidad de materia orgánica disuelta lábil capaz de ser oxidada por la actividad bacteriana.

Se ha demostrado que los arrecifes prístinos tienen una comunidad microbiana asociada que refleja e indica que un arrecife de coral está saludable; sin embargo, a medida que las actividades antrópicas alrededor de este ecosistema se vuelven más intensas, las bacterias patógenas tienden a proliferar. Entre ellas se encuentran los vibrios, en gran medida los responsables de enfermedades.

Uno de los grupos de bacterias que se encuentran ampliamente distribuidos en los ecosistemas marinos son los vibrios y, en particular, en los arrecifes coralinos son considerados indicadores importantes para evaluar el “estado de salud”, ya que están asociados a una amplia gama de enfermedades de corales ([Ben-Haim & Rosenberg, 2002](#); [Kushmaro *et al.* \(2001\)](#); [Sweet & Bulling, 2017](#)). En este sentido, las elevadas concentraciones de vibrio detectadas en algunos sitios de los arrecifes del golfo de Cazones como Cy-Si, SE-Cy.DP2 y al sur de la ensenada de Cazones (S-EC, indican, desde el punto de vista microbiológico, que son más vulnerables al deterioro de su estado de salud.

La contribución relativa de los vibrios al total de las bacterias heterótrofas aerobias en las aguas aledañas de las crestas y arrecifes frontales del golfo de Cazones evidenció que, en algunas estaciones como la del sur de la ensenada de Cazones en la cresta (S-EC) y SE-Cy.DP2, en el arrecife

profundo, los porcentajes de vibrio fueron muy elevados, lo que indica la importancia de este grupo dentro de las bacterias heterótrofas totales en dichas zonas. Destaca que, coincidentemente en la estación S-EC, se observaron las mayores concentraciones de bacterias heterótrofas aerobias, todo lo cual debe servir de alerta, pues el estado de salud de ese arrecife tiene condiciones, desde el punto de vista microbiológico, para el deterioro de este sitio.

Sin embargo, [Loza et al. \(2017\)](#) informan que la tendencia en los arrecifes del golfo de Cazones (tanto en crestas como arrecifes frontales) entre el 2001 y el 2017 fue mantener bajos porcentajes de enfermedades y a ir disminuyendo en el tiempo. Según [Yakob & Mumby \(2011\)](#), la incidencia de enfermedades está disminuyendo debido a que las comunidades de corales están siendo más resistentes a los patógenos y a la colonización de epizoos.

Otro indicador microbiano que debe tenerse en cuenta en la evaluación del estado de salud de los arrecifes son las bacterias sulfatorreductoras. En el desarrollo de esta investigación se encontraron elevadas concentraciones de bacterias sulfatorreductoras en micronichos de las estaciones de crestas arrecifales, lo que indica una acumulación de materia orgánica y, por tanto, un consumo del oxígeno provocado por la descomposición de esa materia orgánica ([Gast et al. 1999](#)), todo lo cual posibilita el deterioro de la calidad de

ese ecosistema, ya que las BSR solo se desarrollan en ambientes anóxicos o reducidos y, por tanto, pudiera ser una señal de empeoramiento de la salud de esos arrecifes.

Al comparar los resultados obtenidos de las BSR en el golfo de Cazones con los informados por [Miravet \(2003\)](#) para los arrecifes que bordean el golfo de Batabanó, ubicados en la zona SW, entre 1998 y 1999, los valores detectados de BSR en las crestas arrecifales del golfo de Cazones fueron superiores hasta en dos órdenes y similares a los informados por [Miravet et al. \(1994\)](#) en una investigación realizada en las aguas de los arrecifes que bordean el archipiélago Sabana-Camagüey.

Las relaciones obtenidas entre los factores bióticos y abióticos en las aguas de los ecosistemas arrecifales del golfo de Cazones sugieren que los microorganismos desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento de la trama trófica en los ecosistemas marinos y ponen de manifiesto los procesos fundamentales que ocurren en los ecosistemas arrecifales, como son la remineralización, donde las bacterias heterótrofas aerobias descomponen la materia orgánica, y aportan nutrientes, fundamentalmente, las formas oxidadas del nitrógeno (NOx).

CONCLUSIONES

Los arrecifes más vulnerables al deterioro ambiental, tomando en consideración los indicadores microbiológicos de calidad de las aguas en el golfo de Cazones, son SE-Cy.DP2, SE-Cy.DP1 y S-EC, pues presentan elevadas concentraciones de materia orgánica (DQO), de bacterias heterótrofas, de sulfatorreductoras y de vibrios.

Las aguas en los arrecifes del golfo de Cazones, en general, se clasifican de mesotróficas a meso-eutróficas, de acuerdo con los indicadores microbiológicos, lo que refleja condiciones de nutricación debido al deterioro de sus condiciones ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido posible por el financiamiento de la Comisión Europea al proyecto “Evaluación de los Impactos Potenciales del Cambio Climático sobre la Biodiversidad y Desarrollo de Estrategias de Adaptación en dos Regiones de Ecosistemas Frágiles de Cuba”. Se agradece a la Fundación Antonio Núñez Jiménez de la Naturaleza y el Hombre por ser la responsable de la logística de las expediciones marinas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcolado, P. M., Morgan, I. E., Kramer, P. A., Ginsburg, R. N., Blanchon, P., de la Guardia, E., Kosminin, V., González-Ferrer, S. & Hernández, M. (2010). Condition of remote reefs of southwest Cuba. *Cienc. Mar.*, 36(2), 179-197.
- Anderson, M. J. & Millar, R. B. (2004). Spatial variation and effects of habitat on temperate reef fish assemblages in northeastern New Zealand. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 305(2), 191-221. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2003.12.011>.
- Anderson, M. J., Gorley, R. N. & Clarke, K. R. (2008). *PERMANOVA for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods*. UK, PRIMER-E Ltd.
- APHA. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (22nd ed.). EE. UU. American Water Works Association (AWWA).
- Arriaza, L., Hernández, M., Lorenzo, S., Olivera, J., Rodas, L., Montesino, D. & Navarro-Padrón, J. (2012). Modelación numérica de corrientes marinas alrededor del occidente de Cuba. *Ser. Oceanol.*, 10, 11-22.
- Aronson, R. B. & Precht, W. F. (2001). White-band disease and the changing face of Caribbean coral reefs. *Hydrobiol.*, 460, 25-38. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3284-0_2
- Ben-Haim, Y. & Rosenberg, E. (2002). A novel *Vibrio* sp. pathogen of the coral *Pocillopora damicornis*. *Mar. Biol.*, 144, 47-55. <https://doi.org/10.1007/s00227-002-0797-6>.
- Brocke, H. J., Wenzhoefer, F., De Beer, D., Mueller, B., Van Duyl, F. C. & Nugues, M. M. (2015). High dissolved organic carbon release by benthic cyanobacterial mats in a Caribbean reef ecosystem. *Sci. Rep.* 5, 8852.

- Cho, B. C. & Azam, F. (1990). Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean's euphotic zone. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 63, 253-259.
- Eakin, C. M., Morgan, J. A., Heron, S. F., Smith, T. B., Liu, G. & Alvarez-Filip, L. (2010). Caribbean corals in crisis: Record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005. *PLoS ONE* 5(11), e13969.
- Gardner, T. A., Cote, I. M., Gill, J. A., Grant, A. & Watkinson, A. R. (2003). Long-Term Region-Wide Declines. *Caribbean Corals. Sci.*, 301, 958-960. <https://doi.org/10.1126/science.1086050>
- Gast, G. J. (1998). *Microbial Densities and Dynamics in Fringing Coral Reef Waters* (Tesis de Doctorado no publicada). University of Amsterdam, The Netherlands.
- Gast, G. J., Jonkers, P. Y., van Duyl, F. & Bak, R. (1999). Bacteria, flagellates and nutrients in island fringing coral reef waters: influence of the ocean, the reef and eutrophication. *Bull. Mar. Sci.*, 65(2), 523-538.
- Ginsburg, R. N. & Glynn, P. W. (1994). Summary of the colloquium and forum on global aspects of coral reefs. In R. N. Ginsburg (Ed.), *Proceedings of the Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazards and History* (pp. 1-8). EE. UU.: Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami.
- Harvey, B. J., Nash, K. L., Blanchard, J. L. & Edwards, D. P. (2018). Ecosystem-based management of coral reefs under climate change. *Ecol. Evol.*, 8, 6354-6368. <https://doi.org/10.1002/ece3.4146>.
- Henschke, N., Everett, J. D., Richardson, A. J. & Suthers, I. M. (2016). Rethinking the role of salps in the ocean. *Trends Ecol. Evol.*, 31(9), 720-33. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.06.007>.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E. & Hatziolos, M. E. (2007). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Review. Science*, 318, 1737-1742. <https://doi.org/10.1126/science.1152509>
- Hughes, T. P., Graham, N. A. J., Jackson, J. B. C., Mumby, P. J. & Steneck, R. S. (2010). Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. *Trends Ecol. Evol.*, 25, 633-642. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.07.011>.
- Hughes, T. P., Anderson, K. D., Connolly, S. R., Heron, S. F., Kerry, J. T., Lough, J. M., ... & Wilson, S. K. (2018). Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science*, 359, 80.
- Jackson, J. B. C., Donovan, M. K., Cramer, K. L. & Lam, V. V. (2014). *Status and Trends of Caribbean Coral Reefs: 1970-2012*. Switzerland: Global Coral Reef Monitoring Network, IUCN.
- Jiang, S. C. (2001). *Vibrio cholerae* in recreational beach water sand tributaries of Southern California. *Hydrobiol.*, 460, 157-164.
- Kushmaro, A., Banin, E., Loya, Y., Stackebrandt, E. & Rosenberg, E. (2001). *Vibrio shiloi* sp. nov., the causative agent of bleaching of the coral *Oculina patagonica*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 51, 1383-1388. <https://doi.org/10.1099/00207713-51-4-1383>.
- Kirchman, D. L. (2000). Uptake and Regeneration of Inorganic Nutrients by Marine Heterotrophic Bacteria. In D. L. Kirchman (Ed.), *Microbial Ecology of the Oceans* (pp. 262-288). EE. UU.: Wiley-Liss.
- Kleypas, J. & Hoegh-Guldberg, O. (2008). Coral reefs and climate change:

- susceptibility and consequences. In C. Wilkinson & D. Souter (eds.), *Status of Caribbean Coral Reefs after Bleaching and Hurricanes in 2005* (pp. 19-29). Australia.: Global Coral Reef Monitoring Network and Rainforest Research Center.
- Loza, S., Busutil, L., Rodríguez, S., Lugioyo, G. M., García, I., Rey-Villier, N.,...& Hernández-Zanuy, A. (2017). *Evaluación de la vulnerabilidad de la biodiversidad marino-costera al cambio climático en los arrecifes coralinos del golfo de Cazonos y del archipiélago Jardines de la Reina*. Cuba: ICiMAR.
- Lluis-Riera, M. (1983). Régimen hidrológico de la plataforma insular de Cuba. *Cien. Tierr. Esp.*, 7, 81-110.
- Lugioyo, G. M. (2003). *Distribución, relaciones tróficas y diversidad del bacterioplankton de las aguas oceánicas de Cuba* (Tesis de doctorado no publicada). Universidad de La Habana, Cuba.
- Miravet, M. E. (2003). *Abundancia, actividad y diversidad de las bacterias heterótrofas en el Golfo de Batabanó y su uso como indicadores ambientales*. (Tesis de doctorado no publicada). Universidad de La Habana, Cuba.
- Miravet, M. E., Martínez-Daranas, B. & Penie, I. (1994). *Indicadores microbiológicos del estado de salud de los arrecifes que bordean el archipiélago Sabana-Camagüey*. Cuba: Instituto de Oceanología.
- Miravet, M. E., Lugioyo, M., Loza, S., Enriquez, D., Delgado, Y., Carmenate, M. & Pérez, D. (2009). *Procedimientos para el monitoreo de la calidad ambiental en la zona marino costera a partir de microorganismos*. República Dominicana: Centenario.
- Montalvo-Estévez, J. F., García-Ramil, I., Perigó-Arnaud, E., Albuquerque-Brook, O.C. & García-García, N. (2013). Calidad química del agua y sedimento en las bahías del archipiélago Sabana-Camagüey. *Rev. Cub. Quim.*, 25(2),123-133.
- Motegi, C., Tanaka, T., Piontek, J., Brussaard, C. P. D., Gattuso, J. P. & Weinbauer, M. G. (2013). Effect of CO₂ enrichment on bacterial metabolism in an Arctic fjord. *Biogeosciences*, 10, 3285-3296.
- Nelson, C., Alldredge A. L., McCliment, E. A., Amaral-Zettler, L. A. & Carlson, C. A. (2011). Depleted dissolved organic carbon and distinct bacterial communities in the water column of a rapid-flushing coral reef ecosystem. *Int. Soc. Microb. Ecol. J.*, 5, 1374-1387. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.12>.
- Pandolfi, J. M., Jackson, J. B. C., Baron, N., Bradbury, R. H., Guzman, H. M., Hughes, T. P. & Sala, E. (2005). Are US coral reefs on the slippery slope to slime? *Science*, 307, 1725-1726. <https://doi.org/10.1126/science.1104258>.
- Petrova, V., Villasuso, M. & Alfonso, A. (2007). *Manejo de los recursos hídricos en los humedales. Caso de estudio Ciénaga de Zapata* (Parte IV). República Dominicana: Centenario.
- Pucci, G. N., Acuña, A. J. Llanes, M. L., Tiedemann, M. C. & Pucci, O. H. (2009). Identificación de bacterias marinas cultivables de la ciudad costera Comodoro Rivadavia, Argentina. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 44, 49-58. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572009000100005>.
- Rey-Villiers, N. (2016). Breve descripción oceanográfica de los golfos Batabanó, Ana María y Guacanayabo. En N. Rey-Villiers (Ed.), *Línea base ambiental para el estudio del cambio climático en el golfo de Cazonos y el archipiélago Jardines de la Reina, Cuba* (pp.16-19). Cuba: Instituto de Oceanología, CITMA.

- Spalding, M., Burke, M., Wood, S. A., Ashpole, J., Hutchison, J. & Ermgassen, P. (2017). Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. *Mar. Pol.*, 82, 104-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.014>
- Sweet, M. J. & Bulling, M. T. (2017). On the Importance of the Microbiome and Pathobiome in Coral Health and Disease. *Front. Mar. Sci.*, 4(9), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00009>.
- Thampi, V. A., Madhur, A. & Chris, T. B. (2018). Socio-ecological dynamics of Caribbean coral reef ecosystems and conservation opinion propagation. *Scien. Rep.* 8, 2597. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20341-0>.
- Thompson J. R. & Polz M. F. (2006). Dynamics of *Vibrio* populations and their role in environmental nutrient cycling. In F. Thompson, B. Austin & J. Swings (Eds), *The Biology of Vibrios* (pp. 190-203). EE. UU.: ASM Press.
- van Duyl, C. & Gast, G. J. (2001). Linkage of small-scale spatial variations in DOC, inorganic nutrients and bacterioplankton growth with different coral reef water types. *Aquat. Microb. Ecol.*, 24, 17-26.
- Weijerman, M., Veazey, L., Yee, S., Vaché, K., Delevaux, J. M. S., Donovan, M. K. & ... Oleson, K. L. L. (2018). Managing Local Stressors for Coral Reef Condition and Ecosystem Services Delivery Under Climate Scenarios. *Front. Mar. Sci.*, 5, 425. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00425>.
- Williams, P. J. (2000). Heterotrophic Bacteria and the Dynamics of Dissolved Organic Material. In D. L. Kirchman (Ed.), *Microbial Ecology of the Oceans* (pp. 153-200). EE. UU.: Wiley-Liss.
- Williams, G. J., Graham, N. A. J., Jouffray, J. B., Norström, A. V., Nyström, M., Gove, J. M., A. Heenan, A. & Wedding, L. M. (2019). Coral reef ecology in the Anthropocene. *Functional Ecol.*, 33, 1014-1022. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13290>
- Yakob, L. & Mumby, P. (2011). Climate change induces demographic resistance to disease in novel coral assemblages. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 108(5), 1967-1969. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015443108>.

Abundancia, biomasa y estructura de la ictiofauna demersal en el océano Pacífico de Centroamérica, basadas en datos de prospección pesquera realizados a bordo del B/O Miguel Oliver

Abundance, biomass, and structure of demersal ichthyofauna in the Pacific Ocean of Central America, based on fishery prospecting conducted on board the R/V Miguel Oliver

Rosario Benavides Morera^{1*}, Fernando Campos Calderón¹ y José Mauro Vargas Hernández¹

RESUMEN

A razón de ampliar el conocimiento sobre la estructura y composición de la ictiofauna demersal en el Pacífico de Centroamérica, se realizó el estudio de muestras obtenidas en 98 puntos de arrastre efectuados con el B/O Miguel Oliver entre el 10 de noviembre y el 16 de diciembre de 2010. Con una red tipo Lofoten, se faenó por 30 minutos sobre los puntos ubicados según estratos y profundidad (máxima 1 600 m). La muestra total (17 507 ejemplares) tuvo representación de peces cartilagosos y óseos divididos en 77 familias y 158 especies. *Dicrolene filamentosa* (12.27%) mostró la mayor abundancia, las biomazas más representativas del estudio fueron de *Peprilus medius* (35.67%) y *Peprilus snyderi* (12.49%) junto con *Rhinoptera steindachneri* (9.45%), mientras que las especies más frecuentes fueron *Peristedion barbiger* y *Stomias atriventer* (ambas con 2.71%). La costa frente a Costa Rica y Panamá mostró diversidad alta ($H':3$), mientras que la equidad presentó valores uniformes. Para determinar ensamblajes con respecto a la profundidad, se utilizó un ordenamiento espacial que mostró un agrupamiento de 3 conjuntos (PERMANOVA, $R = 0.54$, $P > 0.05$) y un análisis canónico de correspondencia, el cual arrojó evidencia suficiente de que las especies fueron influenciadas en su distribución por la salinidad y la temperatura. La ictiofauna encontrada responde a eventos y condiciones ambientales particulares que revisten de gran importancia ecológica los hallazgos. Se resalta lo fundamental de los ensamblajes para evaluar cómo las poblaciones cambian como resultado de las características que exhiben las masas de agua.

Palabras clave: América Central, océano Pacífico, profundidad, ensamblajes, plataforma continental.

1 Servicio Regional de Información Oceanográfica (SERIO). Universidad Nacional, 86-3000, Heredia, Costa Rica; rosario.benavides.morera@una.cr* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8570-8280>, alocc13@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4969-4368>, mauro.vargas.hernandez@una.cr ORCID:
<https://orcid.org/0000-0002-7014-7054>

ABSTRACT

In order to expand knowledge about the structure and composition of demersal ichthyofauna on the Pacific of Central America, we analyzed samples collected from 98 sampling points on board the R/V Miguel Oliver from November 10 to December 16, 2010. Using a Lofoten net, trawl surveys were conducted for 30 minutes at each sampling point at different stratum and depths (1600 m maximum). The total sample (17507 specimens) was represented by cartilaginous fish and bony fish divided into 77 families and 158 species. *Dicrolene filamentosa* (12.27%) showed the highest abundance; *Peprilus medius* (35.67%) and *Peprilus snyderi* (12.49%) reported the most representative biomass along with *Rhinoptera steindachneri* (9.45%); in addition, *Peristedion barbigier* and *Stomias atriventer* were the most frequent species (both 2.71%). The coast between Costa Rica and Panama showed the highest diversity (H' :3), while evenness showed uniform values along the studied area. In order to determine fish assemblages in response to depth, a spatial ordering was used showing a 3-set grouping (PERMANOVA, $R = 0.54$, $P > 0.05$). Furthermore, a canonical correspondence analysis shows enough evidence that the species distribution was influenced by salinity and temperature. Findings are ecologically significant indicating that ichthyofauna responds to particular environmental conditions and events. In addition, the paper highlights the importance of assemblages to assess how fish populations change as a result of the characteristics exhibited by water bodies.

Keywords: Central America, Pacific Ocean, depth, assemblages, continental shelf.

INTRODUCCIÓN

Las costas en el océano Pacífico, desde México hasta Ecuador, constituyen parte del gran ecosistema marino conocido como el Pacífico Costero Centroamericano (PCC) (Sherman & Hempel, 2008; Spalding *et al.* 2012). Desde el punto de vista oceanográfico, la región Pacífica del Istmo Centroamericano posee un interés particular, debido a la convergencia de varios eventos oceanográficos y climáticos; tal es el caso de la migración de la ZCIT (Zona de Convergencia Intertropical), los afloramientos costeros, el domo térmico de Costa Rica, entre otros (Willett *et al.* 2006; Amador, 2008; Kikuchi & Wang, 2008; Sasai *et*

al. 2012). El PCC, además de poseer características físicas muy heterogéneas, es considerado un sistema de alta productividad primaria (300 g • m⁻² año) (Dominici-Arosemena & Wolff, 2006; López, 2016).

Existen diversos estudios en esta gran región que abordan la dinámica costera (Trasviña & Barton, 2008), la oceanografía regional (Lavín *et al.* 2006), los procesos de interacción océano-atmósfera (Amador *et al.* 2016), los eventos climatológicos (Maldonado *et al.* 2018) y la biogeografía de especies de peces en ambientes coralinos (Zapata & Robertson, 2007; Robertson & Cramer, 2009). Los trabajos de peces asociados a la plataforma continental se han concentrado en la costa pacífica

de México (Bianchi, 1991; Aguilar-Palomino *et al.* 1996; Rodríguez-Romero *et al.* 2008; León-Chávez *et al.* 2010), principalmente, en grupos específicos como los tiburones o rayas (Clarke *et al.* 2016). Recientemente, Robertson *et al.* (2017) realizaron un análisis taxonómico de peces óseos capturados en aguas profundas del PCC, con ilustraciones y códigos de barras de ADN. Ellos usaron datos de la misma campaña de prospección que fue utilizada en este trabajo. En la presente contribución, se analizan otras variables, factores e interacciones, con la finalidad de complementar, de cierta manera, el análisis de los datos presentados en el trabajo de Robertson *et al.* (2017).

Las capturas pesqueras totales de los recursos ícticos en el Pacífico Oriental Central han tenido una tendencia a la disminución (FAO, 2018). Particularmente, para la región del istmo centroamericano, la mayoría de las pesquerías son multiespecíficas, deficientes en datos y realizadas a partir de observaciones a largo plazo (Barange *et al.* 2018). Las familias que han tenido mayores capturas son Scombridae y Macrouridae (FAO, 2018). Este conocimiento relativamente escaso contrasta con un creciente interés en la región por especies de profundidad con valor comercial, en especial, por organismos benthicos (Arana *et al.* 2009; Wehrtmann & Nielsen, 2009; Wehrtmann *et al.* 2017). En el caso

de los peces demersales y de aguas profundas, esa información básica no existe en el nivel local o es escasa y dispersa (Ramírez-Llodra *et al.* 2011; Norse *et al.* 2012).

A partir de la década de los 70, la pesca comercial en todo el mundo está ocurriendo a profundidades cada vez mayores (Morato *et al.* 2006) y esta actividad, en aguas profundas, se ha convertido en una importante amenaza para nuevos ecosistemas marinos (Watson & Morato, 2013). En el contexto anterior, estudios como el presente pueden ser importantes para futuras formulaciones e implementaciones de planes de gestión en dichas pesquerías.

Los peces, como muchos otros recursos demersales, destacan por su potencial económico, alimenticio y por su interés científico (Aguilar-Palomino *et al.* 1996). Al igual que en otras regiones del continente, es recomendable contar con una base sólida de información sobre su biología y ecología. Bianchi (1991) realizó un estudio del ensamblaje de especies acerca de la plataforma y del talud continentales entre el golfo de Tehuantepec y el de Papagayo. Dicha investigación tiene algunas similitudes con esta y abarcó una pequeña porción del área muestreada en la campaña de prospección. Otros trabajos adicionales incluyen análisis taxonómicos en Baja California (Rodríguez-Romero *et al.* 2008), en el Pacífico colombiano (Rojas & Zapata, 2006) y ensamblajes en aguas someras de una isla oceánica

(Friedlander *et al.* 2012). También, Acevedo-Cervantes *et al.* (2009) realizaron un análisis del ensamblaje de especies en el golfo de California, a profundidades entre 90 y 540 m.

A pesar de todos los trabajos antes citados y como fue mencionado, los estudios con especies demersales siguen siendo escasos hasta el día de hoy. En este sentido, el principal objetivo de este documento es contribuir al conocimiento de dichas especies, al establecer una base científica para posibles estudios futuros contemplando el componente abordado aquí. La presente investigación es similar a otra realizado previamente y bajo la misma forma de muestreo en una vasta zona del Caribe centroamericano

(Benavides & Campos, 2019); se pudo tener, de esta manera, una imagen bastante completa de la ictiofauna demersal para ambas plataformas y taludes continentales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El estudio se efectuó entre el 10 de noviembre y el 16 de diciembre de 2010 y abarcó aguas del océano Pacífico sobre la plataforma y el talud continentales, desde la costa sureste de Panamá (7°24' 22" N, 78°07'25" O) hasta la costa suroeste de Guatemala (13°45' 55" N, 91°52' 54" O) (Fig. 1).

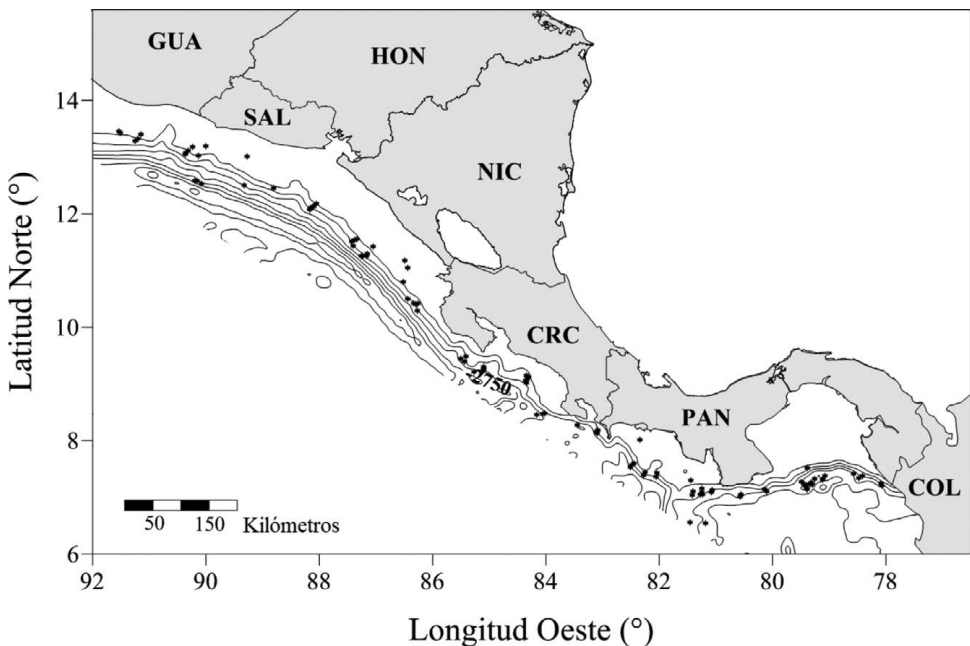


Fig. 1. Área de estudio y posición de estaciones de muestreo (●)

Fig. 1. Study area and position of sampling stations (●)

Metodología de pesca: Se realizaron 107 estaciones de muestreo con 98 lances validos ubicados sobre los 1 568 km de línea de costa a una profundidad entre 100 y 1 600 m, aproximadamente. Cada faena de arrastre tuvo una duración aproximada de 30 min, con una velocidad de ~3-3.5 nudos. La mayoría de las faenas se realizaron durante horas de luz y se contó con un conjunto de sensores de red (ITI-SCANMAR) para ayudar a controlar la duración de cada arrastre. Una descripción detallada de la metodología empleada en estas faenas se puede consultar en [Benavides & Campos \(2019\)](#).

Arte de pesca y equipamientos: El muestreo se realizó a bordo del B/O Miguel Oliver, perteneciente a la Secretaría del Mar de España. La embarcación estaba equipada con una red de arrastre de tipo LOFOTEN, con especificaciones exactas, según [Robertson *et al.* \(2017\)](#).

Muestreo biológico: En cada estación, los individuos colectados fueron contabilizados, pesados y clasificados taxonómicamente hasta el nivel de especie. Para la identificación, se utilizaron las claves de [Carpenter & Niem \(1999a; 1999b; 2001a y 2001b\)](#). La validez taxonómica, la autoridad y el año de la descripción de cada especie se corroboraron, según [Fricke *et al.* \(2017\)](#).

Muestreo oceanográfico: En 98 de los lances de pesca, se realizaron perfiles oceanográficos en la columna de agua. Para esto, se utilizó un

perfilador CTD Sea Bird, modelo SB 25 plus. En cada estación, se obtuvieron valores de temperatura (°C) y salinidad desde la superficie hasta 1590 m de profundidad.

Análisis estadístico: Con el número de individuos capturados por estación, se formuló una matriz biológica. A fin de reducir influencias de ceros, se transformó la matriz a $\log(x + 1)$ y se estandarizó por el área muestreada de arrastre ([Páramo *et al.* 2012](#)). La riqueza de especies fue evaluada mediante una curva de acumulación de especies, utilizando el método de rarefacción basado en muestras ([Ugland *et al.* 2003](#)). Se calculó el índice de diversidad de Shannon (H') y equidad de Pielou (J'), con el fin de estudiar la uniformidad y proporción de la diversidad encontrada. Se analizaron las especies que representaron al menos el 1% de la frecuencia. La posible influencia de la profundidad con la abundancia se determinó mediante un análisis Clúster, utilizando el índice de similaridad de Bray-Curtis. Para validar la diferenciación entre matrices, se realizó un análisis de varianza multivariado con permutaciones, usando matrices de distancias (PERMANOVA). Finalmente, para estudiar la influencia de las variables hidrográficas, se hizo un análisis canónico de correspondencia (ACC). Todos los análisis estadísticos se realizaron en R 3.5.1 (R Core Team, 2018). Los mapas se generaron con Surfer® 13 (2013).

RESULTADOS

La curva de acumulación de especies (Fig. 2) corresponde a una función que muestra un comportamiento asintótico para puntos de muestreo superiores a 20, siendo más evidente al aproximarse al máximo de sitios de colecta. Por el contrario, la desviación estándar tuvo valores elevados en los primeros puntos (5 sitios), para, posteriormente, decrecer hasta alcanzar su punto más bajo en el último muestreo.

El total de organismos capturados fue 17 507, estos pertenecen a 158 especies (137 de peces óseos y 21 de condrictios) correspondientes a 77 familias (Cuadro 1). El grupo de los peces óseos fue el más abundante (96.77%, $n = 16\ 942$), y las especies

Dicrolene filamentosa (12.27%), *Bathypterois atricolor* (6.39%) y *Hemanthias signifer* (5.99%) tuvieron los valores porcentuales (abundancias relativas) más altos. El grupo de los condrictios (3.23%, $n = 565$) completó el porcentaje restante con *Centroscyllium nigrum* (0.83%) como principal contribuyente a la abundancia.

La biomasa total fue de 11 278.18 kg. El 88.34% correspondió a peces óseos (9963.11 kg), representados, principalmente, por *Peprilus medius* (35.67%), *Peprilus snyderi* (12.49%) y *Merluccius angustimanus* (9.20%). Estas 3 especies sumaron el 57.35% del total de biomasa capturada (6468.21 kg). El grupo de los condrictios aportó un 11.66% (1315.06 kg) con *Rhinoptera steindachneri*

como principal contribuyente (9.45%). Entre los 100 y 400 m de profundidad, se capturaron las especies más abundantes. Solo la captura de *M. angustimanus* se extendió a profundidades mayores (700 m). En el Cuadro 2, se encuentran los valores promedio de la temperatura y la salinidad, según los estratos de profundidad y el número de especies. La mayor cantidad de

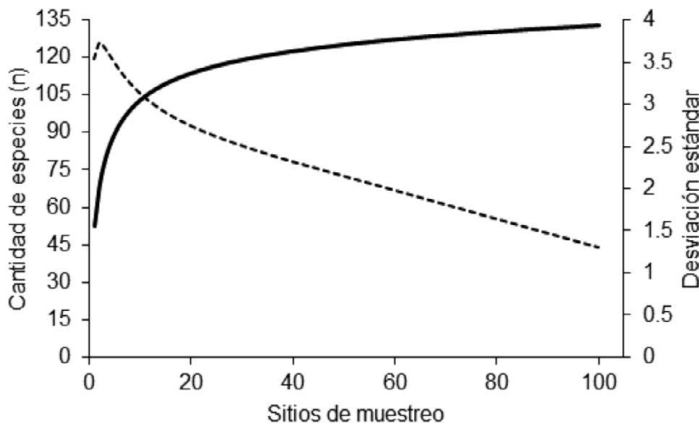


Fig. 2. Curva de acumulación de especies basada en rarefacción de cada sitio de muestreo y la desviación estándar calculada para cada sitio (línea discontinua)

Fig. 2. Species accumulation curve based on each site rarefaction and the standard deviation for all sampling sites (dashed line)

Cuadro 1. Especies demersales capturadas durante el estudio. Se presenta la abundancia porcentual (del conteo de individuos), la biomasa (peso capturado no eviscerado), frecuencia de muestreo y rango de captura
Table 1. Demersal species captured during the study. Percentages are presented for abundance (of the count of individuals), biomass (weight not eviscerated), sampling frequency and range of capture

Familia	Especie	Abundancia %	Biomasa %	Frecuencia %	Rango de profundidad (m)
Acanthuridae	<i>Acanthurus coeruleus</i> (Bloch & Schneider 1801)	0.0057	0.0190	0.1353	140.5
Alepocephalidae	<i>Alepocephalus tenebrosus</i> (Gilbert 1892)	0.1771	0.0471	1.7591	115-1 389
Alepocephalidae	<i>Bajacalifornia burragei</i> (Townsend & Nichols 1925)	0.0286	0.0443	0.2706	320-1 406
Alepocephalidae	<i>Bathytroctes microlepis</i> (Günther 1878)	0.0400	0.0621	0.1353	1 530-1 625
Alepocephalidae	<i>Leptoderma ospesca</i> (Angulo, Baldwin & Robertson 2016)	0.0228	0.0020	0.1353	530-1 625
Alepocephalidae	<i>Rouleina attrita</i> (Vaillant 1888)	0.0228	0.0355	0.1353	1 115-1 119
Alepocephalidae	<i>Talismania bifurcata</i> (Parr 1951)	0.1771	0.0471	0.2706	482.5-1401
Alopiidae	<i>Alopias superciliosus</i> (Lowe 1841)	0.0057	0.0048	0.1353	419.5
Anoplogastridae	<i>Anoplogaster cornuta</i> (Valenciennes 1833)	0.1085	0.0088	1.7591	722-1 469.5
Antennariidae	<i>Fowlerichthys avalonis</i> (Jordan & Starks 1907)	0.0057	0.0006	0.1353	132
Argentinidae	<i>Argentina aliciae</i> (Cohen & Aisaides 1969)	4.3640	1.6059	0.4060	108-138.5
Ariidae	<i>Cathorops steindachneri</i> (Gilbert & Starks 1904)	0.0171	0.0024	0.2706	105.5-933
Balistidae	<i>Balistes polylepis</i> (Steindachner 1876)	0.0057	0.0000	0.1353	106
Bathylagidae	<i>Leuroglossus urotronus</i> (Bussing 1965)	0.0057	0.0000	0.1353	105-107
Bothidae	<i>Engyophrys sanctilaurentii</i> (Jordan & Bollman 1890)	0.1828	0.0050	1.0825	105.5-1 369
Bothidae	<i>Monolene dubiosa</i> (Garman 1899)	1.0053	0.0067	0.9472	130-457
Bothidae	<i>Monolene maculipinna</i> (Bruun 1937)	0.0057	0.0685	0.1353	1 369
Bregmacerotidae	<i>Bregmaceros bathymaster</i> (Jordan & Bollman 1890)	0.0057	0.0004	0.2706	157-183.5
Bythitidae	<i>Cataetys simus</i> (Garman 1899)	0.0057	0.0064	0.1353	769
Callionymidae	<i>Synchiropus atrilabiatius</i> (Garman 1899)	0.0800	0.0001	0.1353	165.5-182.5
Caproidae	<i>Capros aper</i> (Linnaeus 1758)	0.0057	0.0009	0.1353	941.5
Carangidae	<i>Caranx crysos</i> (Mitchill 1815)	0.0057	0.0265	0.1353	941.5
Carangidae	<i>Caranx sexfasciatus</i> (Quoy & Gaimard 1825)	0.0057	0.0038	0.1353	1345
Carangidae	<i>Decapterus macrosoma</i> (Bleeker 1851)	0.0057	0.0006	0.1353	109-500
Carangidae	<i>Selene brevoortii</i> (Gill 1863)	0.0057	0.0000	0.1353	124-165

Familia	Especie	Abundancia %	Biomasa %	Frecuencia %	Rango de profundidad (m)
Carangidae	<i>Selene peruviana</i> (Guichenot 1866)	0.0171	0.0001	0.4060	149-186
Carcharhinidae	<i>Carcharhinus plumbeus</i> (Nardo 1827)	0.8397	0.0093	0.1353	1 244
Caulophrynidae	<i>Caulophryne pelagica</i> (Brauer 1902)	0.0057	0.0027	0.1353	945
Chiasmodontidae	<i>Chiasmodon subniger</i> (Garman 1899)	0.0286	0.0015	0.6766	614-1577.5
Chiasmodontidae	<i>Pseudoscopelus lavenbergi</i> (Melo, Walker & Klepadlo 2007)	0.0114	0.0177	0.1353	1 113-1126
Chimaeridae	<i>Hydrolagus macrophthalmus</i> (de Buen 1959)	0.4627	0.2371	2.3004	905.5-1 469.5
Chlorophthalmidae	<i>Chlorophthalmus mento</i> (Garman 1899)	0.0457	0.0085	0.8119	135.5-779
Congridae	<i>Japonoconger proriger</i> (Gilbert 1891)	0.0400	0.0621	0.6766	118-920
Congridae	<i>Xenomystax atrarius</i> (Gilbert 1891)	0.6112	0.0786	0.4060	140.5-1 401
Cynoglossidae	<i>Symphurus leei</i> (Jordan & Bollman 1890)	0.4855	0.0080	0.2706	130-176
Dalatiidae	<i>Dalatias licha</i> (Bonnaterre 1788)	0.0057	0.7619	0.1353	875.5
Echinorhinidae	<i>Echinorhinus cookei</i> (Pietschmann 1928)	0.0743	0.0010	0.8119	174-496
Emmelichthyidae	<i>Plagiogeneion rubiginosum</i> (Hutton 1875)	0.0057	0.2680	0.1353	127.5
Etmopteridae	<i>Etmopterus benchleyi</i> (Vásquez, Ebert & Long 2015)	0.8397	0.0006	0.1353	905.5-1469.5
Etmopteridae	<i>Etmopterus spinax</i> (Linnaeus 1758)	0.0228	0.0143	0.1353	1 197.5
Gadidae	<i>Micromesistius poutassou</i> (Risso 1827)	0.0514	0.0483	0.1353	105.5-1 197.5
Haemulidae	<i>Pomadasyx branickii</i> (Steindachner 1879)	0.0057	0.0023	0.1353	113-114
Halosauridae	<i>Halosaurus attenuatus</i> (Garman 1899)	0.0286	0.0090	0.2706	1 113-1 472
Halosauridae	<i>Halosaurus radiatus</i> (Garman 1899)	0.0914	0.0813	2.0298	115-844
Ipnopidae	<i>Bathypterois atricolor</i> (Alcock 1896)	6.3917	0.1768	0.6766	153-1 443
Ipnopidae	<i>Bathypterois ventralis</i> (Garman 1899)	2.4276	0.1077	1.2179	165-1 406
Labridae	<i>Acantholabrus palloni</i> (Risso 1810)	0.0057	0.0061	0.1353	132
Labridae	<i>Decodon melasma</i> (Gomon 1974)	0.0571	0.0049	0.8119	105.5-140.5
Lophiidae	<i>Lophiodes caulinaris</i> (Garman 1899)	0.1656	0.0645	1.6238	105.5-143
Lophiidae	<i>Lophiodes spilurus</i> (Garman 1899)	0.0857	0.0043	0.2706	148-474
Lutjanidae	<i>Lutjanus viridis</i> (Valenciennes 1846)	0.0228	0.0243	0.1353	240
Macrouridae	<i>Coelorinchus canus</i> (Garman 1899)	1.8393	0.0370	0.2706	148-174
Macrouridae	<i>Coryphaenoides anguliceps</i> (Garman 1899)	2.5190	0.6007	0.4060	814-1 577.5
Macrouridae	<i>Coryphaenoides boops</i> (Garman 1899)	0.2228	0.2605	2.0298	745.5-1 114.5
Macrouridae	<i>Coryphaenoides capito</i> (Garman 1899)	0.8340	0.5051	0.6766	905.5-1469.5

Familia	Especie	Abundancia %	Biomasa %	Frecuencia %	Rango de profundidad (m)
Macrouridae	<i>Coryphaenoides carminifer</i> (Garman 1899)	2.8160	0.1886	0.6766	814-1 577.5
Macrouridae	<i>Coryphaenoides detsolari</i> (Chirichigno & Iwamoto 1977)	0.5712	0.1224	0.5413	1081-1 285.5
Macrouridae	<i>Nezumia convergens</i> (Garman 1899)	2.2905	0.1221	0.5413	138.5-1 577.5
Macrouridae	<i>Nezumia latirostrata</i> (Garman 1899)	0.0228	0.0011	0.1353	1 023
Macrouridae	<i>Nezumia liolepis</i> (Gilbert 1890)	1.2966	0.1387	0.2706	1 114.5-1 121
Macrouridae	<i>Nezumia steligdolepis</i> (Gilbert 1890)	0.0571	0.4370	0.5413	115.5-814
Malacanthidae	<i>Caulolatilus affinis</i> (Gill 1865)	0.0114	0.0029	0.2706	108-138.5
Melanocetidae	<i>Melanocetus johnsonii</i> (Günther 1864)	0.0571	0.0084	0.8119	1 121-1 499
Merlucciidae	<i>Merluccius angustimanus</i> (Garman 1899)	0.1200	9.1953	0.6766	115-700
Moridae	<i>Antimora rostrata</i> (Günther 1878)	0.0114	0.0027	0.1353	1 119.5
Moridae	<i>Physiculus nematopus</i> (Gilbert 1890)	0.0057	0.0002	0.1353	174
Moridae	<i>Physiculus rastrelliger</i> (Gilbert 1890)	0.6626	0.0131	1.3532	105.5-1 369
Muraenidae	<i>Gymnothorax equatorialis</i> (Hildebrand 1946)	0.0057	0.0010	0.1353	140.5
Muraenidae	<i>Gymnothorax phalarus</i> (Bussing 1998)	0.0057	0.0017	0.2706	105.5-933
Myctophidae	<i>Benthosea panamense</i> (Tåning 1932)	0.0628	0.0827	0.5413	117-422
Myctophidae	<i>Lamparyctus parvicauda</i> (Parr 1931)	0.0057	0.0000	0.1353	1 320-1 370
Myliobatidae	<i>Rhinoptera steindachneri</i> (Evermann & Jenkins 1891)	0.0628	9.4367	0.9472	105.5-1 225.5
Nemichthyidae	<i>Avocettina bowersii</i> (Garman 1899)	0.0286	0.0011	0.2706	1 107-1 292
Nemichthyidae	<i>Avocettina infans</i> (Günther 1878)	0.1200	0.0047	2.4357	722-1 499
Nemichthyidae	<i>Nemichthys scolopaceus</i> (Richardson 1848)	0.4113	0.0335	0.8119	105.5-1 499
Neoscoepelidae	<i>Scopeloglyps tristis</i> (Alcock 1890)	1.3652	0.0640	0.4060	726.5-1 145
Nettastomatidae	<i>Yenefica tentaculata</i> (Garman 1899)	1.4623	0.2732	0.5413	821.5-1 577.5
Nomeidae	<i>Cubiceps pauciradiatus</i> (Günther 1872)	0.0286	0.0023	0.6766	674-1 469.5
Nomeidae	<i>Psenes cyanophrys</i> (Valenciennes 1833)	0.0057	0.0005	0.2706	185.5
Notacanthidae	<i>Notacanthus cf. chemnitzii</i> (Bloch 1788)	0.0114	0.0107	0.2706	1 100-1 527
Notacanthidae	<i>Notacanthus spinosus</i> (Garman 1899)	0.1142	0.0242	2.3004	116-1 527
Ogcocephalidae	<i>Dibranchius eracens</i> (Bradbury, McCosker & Long 1999)	0.0114	0.0028	0.2706	138.5-1 292
Ogcocephalidae	<i>Dibranchius erinaceus</i> (Garman 1899)	0.0628	0.0087	0.6766	470-1 030
Ogcocephalidae	<i>Dibranchius hystrix</i> (Garman 1899)	0.0571	0.0117	0.5413	153-1 527
Ogcocephalidae	<i>Dibranchius nudivomer</i> (Garman 1899)	0.0228	0.0087	0.4060	1 101-1 314

Familia	Especie	Abundancia %	Biomasa %	Frecuencia %	Rango de profundidad (m)
Ogcocephalidae	<i>Dibranchius spinosus</i> (Garman 1899)	0.4284	0.0111	1.3532	836-1 625
Ogcocephalidae	<i>Dibranchius velutinus</i> (Bradbury 1999)	0.0400	0.0098	0.5413	570-965
Ogcocephalidae	<i>Zaliteutes elater</i> (Jordan & Gilbert 1882)	4.9694	0.1970	2.4357	113-136
Ophidiidae	<i>Cherublemma emmelas</i> (Gilbert 1890)	2.9131	4.5259	0.4060	105.5-1 401
Ophidiidae	<i>Dicrolene filamentosa</i> (Garman 1899)	12.2751	6.2414	2.3004	140.5-1 577.5
Ophidiidae	<i>Lamprogrammus cf. niger</i> (Alcock 1891)	0.5655	0.2126	0.2706	726.5-1 577.5
Ophidiidae	<i>Luciobrotula coheni</i> (Nielsen 2009)	0.0400	0.0010	0.6766	108-933
Ophidiidae	<i>Monomitopus malispinosus</i> (Garman 1899)	0.0457	0.0027	1.2179	108-1 022
Ophidiidae	<i>Monomitopus torvus</i> (Garman 1899)	0.8225	0.0195	0.8119	122-1 081
Ophidiidae	<i>Neomyxites stelliferoides</i> (Gilbert 1890)	0.0057	0.0274	0.2706	136-833.5
Ophidiidae	<i>Otophidiium indefatigabile</i> (Jordan & Bollman 1890)	0.0114	0.0224	0.2706	1 369-1 401
Paralichthyidae	<i>Citharichthys platophrys</i> (Gilbert 1891)	0.0171	0.0107	0.4060	108.5-115.5
Paralichthyidae	<i>Hippoglossina bollmani</i> (Gilbert 1890)	1.0510	0.0875	1.7591	105.5-1 225.5
Paralichthyidae	<i>Hippoglossina tetraphthalma</i> (Gilbert 1890)	0.0228	0.0061	0.1353	133.5
Pentanchidae	<i>Apristurus brunneus</i> (Gilbert 1892)	0.0057	0.0034	0.1353	1401
Pentanchidae	<i>Apristurus kampae</i> (Taylor 1972)	0.3484	0.2060	2.4357	674-1 577.5
Pentanchidae	<i>Apristurus nasutus</i> (de Buen 1959)	0.0343	0.0103	0.5413	1 022-1 161.5
Peristediidae	<i>Peristedion barbigier</i> (Garman 1899)	0.0628	0.2736	2.7064	105.5-1 369
Peristediidae	<i>Peristedion crustosum</i> (Garman 1899)	0.0057	0.0029	0.1353	174
Phosichthyidae	<i>Yarella argenteola</i> (Garman 1899)	0.5883	0.0112	0.2706	115-456
Platyroctidae	<i>Barbantus curvifrons</i> (Roule & Angel 1931)	0.0171	0.0030	0.2706	165-1 116
Platyroctidae	<i>Platyroctes apus</i> (Günther 1878)	0.0971	0.0266	2.3004	103-1 472
Priacanthidae	<i>Pristigens serrula</i> (Gilbert 1891)	0.1142	0.0640	0.5413	726.5-1 225.5
Pristigasteridae	<i>Opisthopterus macrops</i> (Günther 1867)	0.0971	0.0151	0.1353	133.5
Psychrolutidae	<i>Psychrolutes cf. sto</i> (Nelson 1980)	0.0514	0.0657	0.9472	905.5-1 499
Rajidae	<i>Dipturus oxyrinchus</i> (Linnaeus 1758)	0.0057	0.0005	0.1353	1 107
Rajidae	<i>Raja microocellata</i> (Montagu 1818)	0.0057	0.0002	0.1353	136
Rajidae	<i>Raja velezi</i> (Chirichigno 1973)	0.0057	0.0078	0.1353	135.5
Rajidae	<i>Rostroraja equatorialis</i> (Jordan & Bollman 1890)	0.0057	0.0149	0.1353	108
Rhinochimaeridae	<i>Harriota raleighana</i> (Goode & Bean 1895)	0.2285	0.3842	0.1353	905.5-1 499

Familia	Especie	Abundancia %	Biomasa %	Frecuencia %	Rango de profundidad (m)
Rhinichimaeridae	<i>Rhinichimaera pacifica</i> (Mitsukurina 1895)	0.0057	0.0265	0.2706	900-1 225
Sciaenidae	<i>Cynoscion albus</i> (Günther 1864)	0.0057	0.0004	0.1353	833.5
Sciaenidae	<i>Cynoscion nanus</i> (Castro-Aguirre & Arvizu-Martínez 1976)	3.3358	0.1237	1.6238	105.5-183.5
Sciaenidae	<i>Cynoscion reticulatus</i> (Günther 1864)	0.0857	0.0083	0.1353	105.5
Sciaenidae	<i>Larimus gulosus</i> (Hildebrand 1946)	0.0114	0.0004	0.1353	105.5
Sciaenidae	<i>Nebrius occidentalis</i> (Vaillant 1897)	1.0053	0.0097	0.2706	945-1 414
Sciaenidae	<i>Stellifer mancorensis</i> (Chirichigno 1962)	0.0057	0.0006	0.1353	779
Sciaenidae	<i>Stellifer minor</i> (Tschudi 1846)	0.0857	0.0551	0.1353	1 414
Sciaenidae	<i>Umbrina bussingi</i> (López S. 1980)	0.0457	0.0034	0.4060	133.5-138.5
Scopelarchidae	<i>Scopelarchoides nicholsi</i> (Parr 1929)	0.0057	0.0003	0.1353	1 081
Scorpaenidae	<i>Pontinus furciferinus</i> (Garman 1899)	0.0228	0.0028	0.1353	148
Scorpaenidae	<i>Pontinus sierra</i> (Gilbert 1890)	0.0457	0.0977	0.4060	122-155
Scyliorhinidae	<i>Cephalurus cephalus</i> (Gilbert 1892)	0.0114	0.0002	0.1353	668.5
Serivomeridae	<i>Serrivomer sector</i> (Garman, 1899)	0.1714	0.0554	0.8119	103-1 527
Serranidae	<i>Baldwinella eos</i> (Gilbert 1890)	1.1767	0.0681	1.8945	115-145
Serranidae	<i>Diplectrum euryleptum</i> (Jordan & Bollman 1890)	3.0788	0.8433	1.6238	57-150
Serranidae	<i>Hemanthias peruanus</i> (Steindachner 1875)	0.3599	0.0031	0.1353	105.5
Serranidae	<i>Hemanthias signifer</i> (Garman 1899)	5.9976	1.7633	0.5413	113-183
Serranidae	<i>Hyporthodus acanthistius</i> (Gilbert 1892)	0.0057	0.0002	0.1353	409
Serranidae	<i>Hyporthodus niphobles</i> (Gilbert & Starks 1897)	0.0400	0.3115	0.2706	127-143
Serranidae	<i>Paralabrax callaensis</i> (Starks 1906)	0.0057	0.0002	0.1353	138.5
Serranidae	<i>Serranus aequidens</i> (Gilbert 1890)	2.7189	7.7374	1.8945	128-183
Sternopygidae	<i>Sternopyx diaphana</i> (Hermann 1781)	0.0286	0.0003	0.5413	197.5-1 225.5
Stomiidae	<i>Stomias atriventer</i> (Garman 1899)	0.3142	0.0188	2.7064	614-1 450
Stromateidae	<i>Peprilus medius</i> (Peters 1869)	5.1351	35.6707	1.2179	109-114
Stromateidae	<i>Peprilus Snyderi</i> (Gilbert & Starks 1904)	4.8266	12.4856	2.0298	109-145
Stromateidae	<i>Stomias colubrinus</i> (Garman 1899)	0.7254	0.0470	0.1353	433.5-1 577.5
Stromateidae	<i>Stromateus stellatus</i> (Cuvier 1829)	0.0114	0.0098	0.1353	491.5
Synodontidae	<i>Synodus evermanni</i> (Jordan & Bollman 1890)	2.5076	0.9303	0.2706	105.5-114
Torpedinidae	<i>Torpedo peruana</i> (Chirichigno F. 1963)	0.0057	0.0001	0.1353	779

Familia	Especie	Abundancia %	Biomasa %	Frecuencia %	Rango de profundidad (m)
Trachichthyidae	<i>Hoplostethus mento</i> (Garman 1899)	2.6389	0.4354	2.0298	108-1 119.5
Triakidae	<i>Mustelus dorsalis</i> (Gill 1864)	0.0171	0.0896	0.1353	240
Triakidae	<i>Mustelus henlei</i> (Gill 1863)	0.2342	0.1836	0.5413	122-1 369
Trichiuridae	<i>Trichiurus lepturus</i> (Linnaeus 1758)	1.7707	0.0114	1.8945	103.5-1 369
Trichiuridae	<i>Trichiurus nitens</i> (Garman 1899)	0.0171	0.0087	0.5413	614-1 023
Triglidae	<i>Bellator loxias</i> (Jordan 1897)	0.1599	0.0168	0.8119	105.5-1 369
Triglidae	<i>Prionotus ruscarius</i> (Gilbert & Starks 1904)	0.5655	0.0175	0.9472	108-1 369
Triglidae	<i>Prionotus stephanophrys</i> (Lockington 1881)	0.7883	0.6487	0.8119	103.5-113.5
Uranoscopidae	<i>Kathetostoma averruncus</i> (Jordan & Bollman 1890)	0.7026	0.1271	0.5413	105.5-148
Zeidae	<i>Zenopsis conchifer</i> (Lowe 1852)	0.0057	0.0012	0.1353	164.5
Zoaridae	<i>Bentartia pusillum</i> (Bean 1890)	0.0628	0.0014	1.7591	407.5-1 527.5
Zoaridae	<i>Bothrocara molle</i> (Bean 1890)	0.0571	0.1064	1.7591	928-1 309.5
Zoaridae	<i>Lycodonus flagellicauda</i> (Jensen 1902)	0.0057	0.0106	0.1353	941.5

especies se encontró en el estrato menos profundo (0-400 m), caracterizado por tener las mayores temperaturas y las salinidades más bajas.

Cuadro 2. Valores promedio de temperatura y salinidad según estrato y número de especies

Table 2. Average values of temperature and salinity according to stratum and number of species

Estrato (m)	Especies	T (°C)	S (PSU)
I (0-400)	93	17.73	32.50
II (400-800)	67	7.63	34.60
III (800-1 200)	87	5.02	34.57
IV (1 200-1 600)	59	3.36	34.59

El primer lugar de la frecuencia de especies por muestreo lo ocuparon

Peristedion barbiger y *Stomias atriventer* (2.7%), seguido de *Avocettina bowersii*, *Apristurus kampae* y *Zalieutes elater* (2.4%); el tercer lugar le correspondió a *Hydrolagus macropthalmus*, *Notacanthus spinosus*, *Dicrolene filamentosa* y *Platytrictes apus* (2.3%)

Los valores más altos de diversidad se encontraron entre el Pacífico Central de Costa Rica y la península de Azuero en Panamá, mientras que los más bajos se observan frente a la costa de Nicaragua (Fig. 3). La equidad tuvo valores relativamente uniformes en toda la región estudiada, con variaciones entre 0.81 y 0.97. Las zonas con mayores valores de equidad se localizaron frente a las costas de El Salvador y el golfo de Panamá.

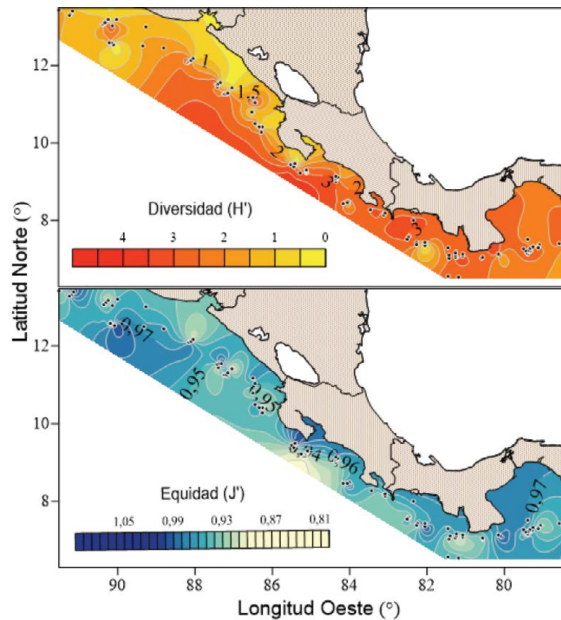


Fig. 3. Distribución espacial de los índices de diversidad (H') y equidad (J')

Fig. 3. Spatial distribution of diversity (H') and evenness (J') indexes

El análisis de conglomerados relacionado con la profundidad generó una segregación de 3 grupos principales, por lo que se pudo corroborar la influencia de esta variable sobre la riqueza de especies, según la prueba de PERMANOVA ($R = 0.54$, $P > 0.05$) (Fig. 4).

El análisis canónico de correspondencia permitió determinar la influencia de las variables físicas temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y salinidad (PSU), así como de la profundidad (m) sobre la distribución de las diferentes especies y grupos de especies (Fig. 5).

DISCUSIÓN

La tendencia asintótica de las dos curvas a partir de 20 sitios de muestreo observado en la Figura 2 evidencia la robustez del método de recolección. Sin embargo, el estudio de patrones regionales de riqueza de especies, a través de ensamblajes, según Clauson-Kaas *et al.* (2017) requiere muestreos largos y estandarizados, por lo cual es recomendable continuar con la recolección de datos, similar a la efectuada en esta oportunidad, en aras de aumentar el conocimiento de la dinámica ecológica y su interacción con el ambiente.

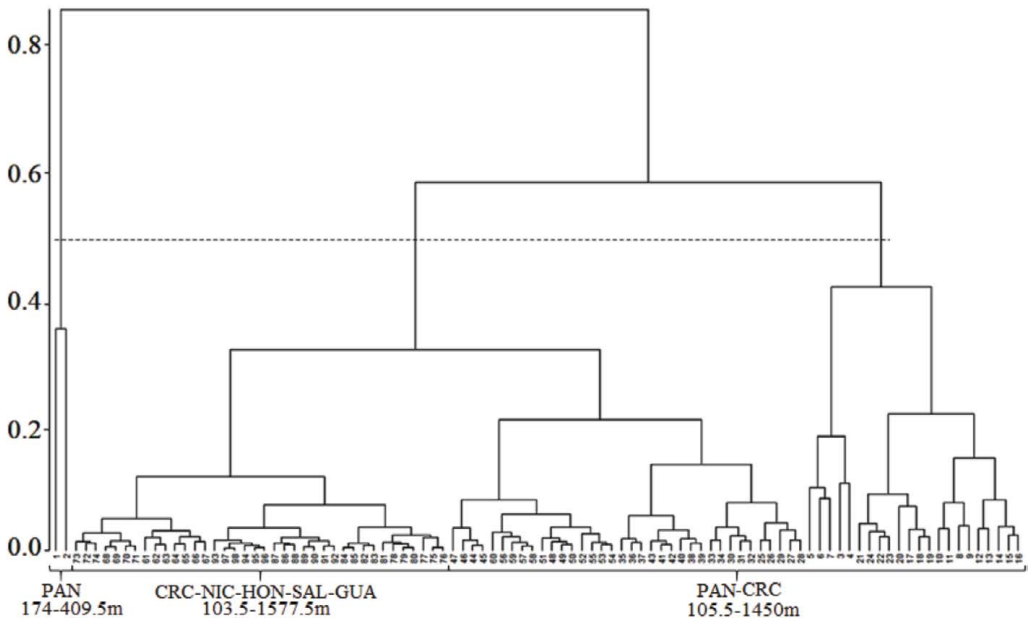


Fig. 4. Dendrograma de las estaciones de muestreo utilizando la similaridad de Bray-Curtis. La línea punteada muestra el 50% de similaridad donde se definen 3 ensamblajes Fig. 4. Dendrogram of trawl stations using group-average clustering from Bray-Curtis similarity. The upper dotted line indicates groups at 50% level of similarity showing 3 different assemblages

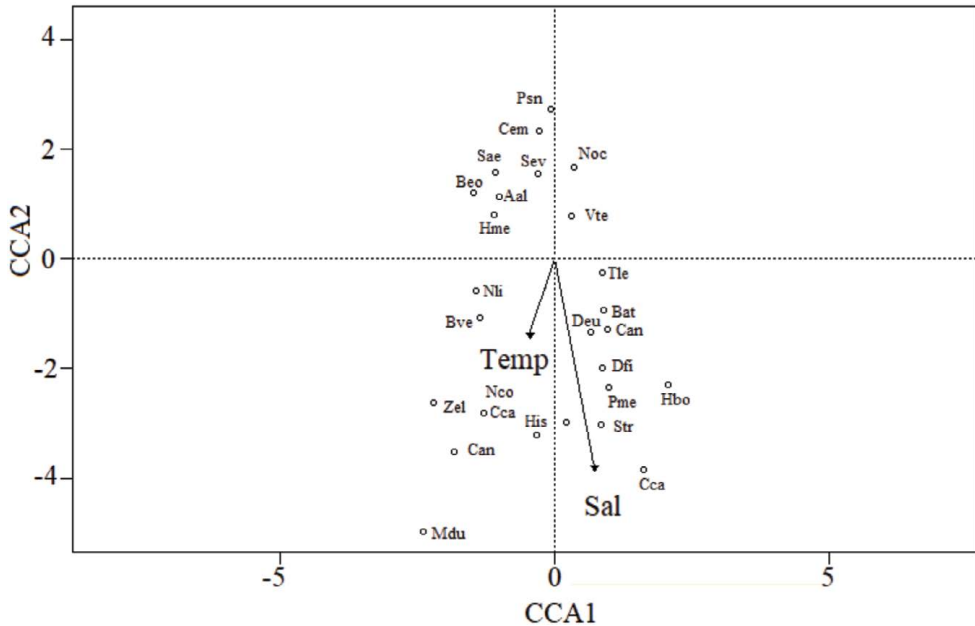


Fig. 5. Análisis de correspondencia canónica en 2 dimensiones. Se muestra en líneas de magnitud la temperatura (C), salinidad (PSU) y profundidad (m) de cada estación. Abreviaturas de las especies: *Dicrolene filamentosa* (Dfi), *Bathypterois atricolor* (Bat), *Hemanthias signifer* (His), *Peprilus medius* (Pme), *Zalieutes elater* (Zel), *Peprilus snyderi* (Psn), *Argentina aliciae* (Aal), *Cynoscion nannus* (Can), *Diplectrum euryplectrum* (Deu), *Cherublemma emmelas* (Cem), *Coryphaenoides carminifer* (Cca), *Serranus aequidens* (Sae), *Hoplostethus mento* (Hme), *Coryphaenoides anguliceps* (Can), *Synodus evermanni* (Sev), *Bathypterois ventralis* (Bve), *Nezumia convergens* (Nco), *Coelorinchus canus* (Cca), *Trichiurus lepturus* (Tle), *Venefica tentaculata* (Vte), *Scopelengys tristis* (Str), *Nezumia liolepis* (Nli), *Baldwinella eos* (Beo), *Hippoglossina bollmani* (Hbo), *Monolene dubiosa* (Mdu) y *Nebris occidentalis* (Noc)

Fig. 5. Two dimension plot of the analysis of canonical correspondence. The temperature (C), salinity (PSU), and depth (m) of each station are shown in lines of magnitude. Species abbreviations: *Dicrolene filamentosa* (Dfi), *Bathypterois atricolor* (Bat), *Hemanthias signifer* (His), *Peprilus medius* (Pme), *Zalieutes elater* (Zel), *Peprilus snyderi* (Psn), *Argentina aliciae* (Aal), *Cynoscion nannus* (Can), *Diplectrum euryplectrum* (Deu), *Cherublemma emmelas* (Cem), *Coryphaenoides carminifer* (Cca), *Serranus aequidens* (Sae), *Hoplostethus mento* (Hme), *Coryphaenoides anguliceps* (Can), *Synodus evermanni* (Sev), *Bathypterois ventralis* (Bve), *Nezumia convergens* (Nco), *Coelorinchus canus* (Cca), *Trichiurus lepturus* (Tle), *Venefica tentaculata* (Vte), *Scopelengys tristis* (Str), *Nezumia liolepis* (Nli), *Baldwinella eos* (Beo), *Hippoglossina bollmani* (Hbo), *Monolene dubiosa* (Mdu) and *Nebris occidentalis* (Noc)

Entre las especies más abundantes de peces óseos (Cuadro 1), destacan 3 de aguas profundas de poco valor comercial: *D. filamentosa*, la cual ha sido reportada como una de las dominantes en otros estudios (Kameya *et al.* 2006); *B. atricolor* y *B. ventralis*, ambas pertenecientes a la familia Ipnopidae, reportadas previamente por Cruz-Acevedo *et al.* (2017), quienes estudiaron su distribución en el Pacífico Central junto con otros miembros del género *Bathypterois*, y *H. signifer*, que forma parte de la fauna acompañante en la pesca de arrastre de camarón en la costa pacífica de Colombia, pero que no representa una especie objetivo (Puentes *et al.* 2007).

Etmopterus benchleyi es la especie del grupo de los condriictios que resultó más abundante (905.5-1 469.5 m). Vásquez *et al.* (2015) la reportaron por primera vez como una nueva especie de tiburón linterna en el Pacífico centroamericano. Los especímenes analizados en dicho estudio son los mismos del presente trabajo. Su identificación fue realizada en el Instituto Smithsonian en Washington, Estados Unidos, donde permanecen como parte de la colección de peces del Museo Nacional de Historia Natural de tal Instituto.

Adicionalmente, en esta investigación, se encontraron especies, más que todo, de peces óseos que figuran como objetivo de muchas de las pesquerías comerciales desarrolladas alrededor del mundo (Cuadro 1). En este sentido,

especies de las familias Trichiuridae, Oreosomatidae, Bericidae y Trachichthyidae, esta última con la presencia de *Hoplostethus mento* y *H. atlanticus*, son importantes en las pesquerías mundiales de profundidad (Norse *et al.* 2012).

Peprilus medius es una especie de alto interés comercial en pesquerías costeras en el golfo de California, México (Maldonado-Amparo *et al.* 2017) y fue, junto con su congénero *P. snyderi* y *M. angustianus*, importante contribuidora de la biomasa total en el presente estudio. En el nivel de familias, Macrouridae (10), Sciaenidae (8) y Serranidae (8) destacan en cuanto a diversidad de especies, todas con representantes conocidos de relevancia ecológica y económica. Estos resultados complementan los obtenidos en otras investigaciones realizadas en el área (Mora & Robertson, 2005; Dominici-Arosemena & Wolff, 2006; Puentes *et al.* 2007; Rodríguez-Romero *et al.* 2008; Friedlander *et al.* 2012 y Robertson *et al.* 2017). Como era de esperar, las mayores biomásas se obtuvieron en los estratos más someros. Al aumentar la profundidad, las condiciones ambientales son menos propicias para el desarrollo de muchas especies, como lo evidenciaron Acevedo-Cervantes *et al.* (2009). Otro factor importante en estos ambientes demersales, que podría limitar las biomásas de algunas especies, es la disponibilidad de alimento, la cual disminuye conforme aumenta la profundidad (Carney, 2005).

Las zonas de mayor equidad (J') y diversidad (H') (Fig. 3) se localizaron frente a la costa de Nicaragua, frente al golfo de Nicoya en Costa Rica y en el golfo de Chiriquí en Panamá. Todas estas regiones se encuentran fuertemente influenciadas por los afloramientos estacionales localizados en el golfo de Panamá y en el golfo de Papagayo, los cuales propician una alta diversidad en el nivel costero (Robertson & Cramer, 2009). Los resultados obtenidos sugieren que la riqueza de especies no varía considerablemente en la región del istmo, coincidiendo con otros estudios biogeográficos en la misma zona tropical costera (Mora & Robertson, 2005; Robertson & Cramer, 2009). Esta característica ha sido reportada como típica de las áreas ubicadas dentro de la Gran Provincia Panámica (Dominici-Arosemena & Wolff, 2006; Spalding *et al.* 2012).

La profundidad es un factor que posee una influencia importante en las comunidades de peces demersales (Powell *et al.* 2003; Carney, 2005; Páramo *et al.* 2012). En este trabajo, se identificaron 3 ensamblajes relacionados con el gradiente vertical batimétrico. El primero de ellos está representado por pocas especies, presentes entre los 174 y 409 m de profundidad cerca de Panamá, y compuesto, principalmente, por 2 grupos funcionales: las especies costeras de fondos blandos y las oceánicas. Estos

resultados son muy similares a los obtenidos por Robertson & Cramer (2009). Otro ensamblaje se determinó a profundidades entre los 105 y 1450 m, coincidiendo con la zona de mayor diversidad, y está representado por la mayoría de las especies ubicadas también en Panamá. Finalmente, el último ensamblaje incluye la zona muestreada entre Costa Rica y Guatemala, constituido, primordialmente, por peces de naturaleza oceánica.

Adicionalmente, en la columna de agua, los organismos también pueden ser segregados en relación con variables físicas como la temperatura y la salinidad, las cuales influyen en la biogeografía y riqueza de las especies (Powell *et al.* 2003; León-Chávez *et al.* 2010). La asociación de especies con dichas variables se visualiza en el CCA (Fig. 5). Estos organismos demersales se agrupan influenciados por la temperatura, en primer lugar, y luego por la salinidad. *M. dubiosa* se aleja un poco de los patrones establecidos para estas 2 variables. Según Carney (2005), la temperatura del agua es el factor que mayor influencia tiene, cuando se buscan las causas de la distribución de los organismos en la profundidad, principalmente, debido a su alta importancia sobre los procesos fisiológicos de ellos. Conforme aumenta la profundidad en la columna de agua, los valores de temperatura de esta disminuyen, mientras que los de salinidad aumentan (Cuadro 2).

El análisis realizado en el presente trabajo aborda el tema de la investigación de peces demersales desde una perspectiva nueva para el Pacífico centroamericano. En ella, se aprovecha un conjunto de datos para documentar sus patrones de abundancia, biomasa, estructura e interacción con el entorno oceanográfico de la citada región. En el caso de los ensamblajes, contar con una línea base es fundamental para evaluar las posibles variaciones de las poblaciones, en respuesta a las características hidrográficas presentes en la columna de agua (Clark *et al.* 2010), al clima, a la eutrofización y a otros factores antropogénicos (Magurran & Henderson, 2010; Paller, 2018).

REFERENCIAS

- Acevedo-Cervantes, A., López-Martínez, J., Herrera-Valdivia, E. & Rodríguez-Romero, J. (2009). Análisis de la abundancia, dominancia y diversidad de la comunidad de peces demersales de profundidad de 90 a 540 metros en el Golfo de California, México. *Interciencia*, 34(9), 660-665.
- Aguilar-Palomino, B., Mariscal-Romero, J., González-Sanson, G. & Rodríguez-Ibarra, L. E. (1996). Ictiofauna demersal de fondos blandos de la plataforma continental de Jalisco y Colima, México, en la primavera de 1995. *Cien Mar.*, 22(4), 469-481.
- Amador, J. A. (2008). The intra Americas sea low level jet. *An. NY. Acad. Scien.*, 1146(1), 153-188.
- Amador, J. A., Rivera, E. R., Durán, Q. A. M., Mora, G., Sáenz, F., Calderón, B. & Mora, N. (2016). The easternmost tropical Pacific. Part I: A climate review. *Rev. Biol. Trop.*, 64 (1), 1-22. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i1.23407>
- Arana, P., Álvarez, P. J. A. & Pezzuto, P. R. (2009). Deep-sea fisheries off Latin America: an introduction. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 37(3), 281-284.
- Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M., Cochrane, K., Funge-Smith, S. & Poulain, F. (2018). *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture - Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 627. Italy: FAO.
- Benavides, M. R. & Campos, C. F. (2019). Abundance, biomass and distribution of demersal fish of the Caribbean Sea of Central América. *Uniciencia*, 33(1), 1-17. <https://doi.org/10.15359/ru.33-1.1>
- Bianchi, G. (1991). Demersal assemblages of the continental shelf and slope edge between the Gulf of Tehuantepec (Mexico) and the Gulf of Papagayo (Costa Rica). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 73, 121-140. <https://doi.org/10.3354/meps073121>
- Carney, R. (2005). Zonation of deep biota on continental margins. *Oceanogr. Mar. Biol.*, 43, 211-78. <https://doi.org/10.1201/9781420037449.ch6>
- Carpenter, K. E. & Niem, V. H. (1999a). *FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific*. Volume 3. Batoid fishes, chimaeras and bony fishes part 1 (Elopidae to Linophrynidae) (pp. 1397-2068). Italy: FAO.
- Carpenter, K. E. & Niem, V. H. (1999b). *FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific*. Volume 4. Bony fishes part 2 (Mugilidae to Carangidae) (pp. 2069-2790). Italy: FAO.

- Carpenter, K. E. & Niem, V. H. (2001a). *FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific. Volume 5. Bony fishes part 3 (Menidae to Pomacentridae)* (pp. 2791-3380). Italy: FAO.
- Carpenter, K. E. & Niem, V. H. (2001b). *FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific. Volume 6. Bony fishes part 4 (Labridae to Latimeriidae), estuarine crocodiles, sea turtles, sea snakes and marine mammals* (pp. 3381-4218). Italy: FAO.
- Clark, M. R., Althaus, F., Williams, A., Niklitschek, E., Menezes, G. M., Hareide, N. R., Sutton, P. & O'Donnell, C. (2010). Are deep-sea demersal fish assemblages globally homogeneous? Insights from seamounts. *Mar. Ecol., 31*(1), 39-51. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2010.00384.x>
- Clarke, T. M., Espinoza, M., Ahrens, R. & Wehrtmann, I. S. (2016). Elasmobranch by catch associated with the shrimp trawl fishery off the Pacific coast of Costa Rica, Central America. *Fish. Bull., 114*(1), 1-17. <https://doi.org/10.7755/FB.114.1.1>
- Clauson-Kaas, S., Richardson, K., Rahbek, C. & Holt, B. G. (2017). Species-specific environmental preferences associated with a hump-shaped diversity/temperature relationship across tropical marine fish assemblages. *J. Biog., 44*(10), 2343-2353. <https://doi.org/10.1111/jbi.13044>
- Cruz-Acevedo, E., Betancourt-Lozano, M. & Aguirre-Villaseñor, H. (2017). Distribution of the deep-sea genus Bathypetris (Pisces: Ipnopidae) in the Eastern Central Pacific. *Rev. Biol. Trop., 65*(1), 89-101. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i1.23726>
- Dominici-Arosemena, A. & Wolff, M. (2006). Reef fish community structure in the Tropical Eastern Pacific (Panamá): living on a relatively stable rocky reef environment. *Helgoland Mar Res., 60*(4), 287. <https://doi.org/10.1007/s10152-006-0045-4>
- FAO. (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. Italy: FAO.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N. & Van der Laan, R. (2017). Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, references. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcat-main.asp>
- Friedlander, A. M., Zgliczynski, B. J., Ballesteros, E., Aburto-Oropeza, O., Bolaños, A. & Sala, E. (2012). The shallow-water fish assemblage of Isla del Coco National Park, Costa Rica: structure and patterns in an isolated, predator-dominated ecosystem. *Rev. Biol. Trop., 60*, 321-338.
- Kameya, A., Romero, M. & Zacarías, S. (2006). Peruvian deep ocean potential resources: fishes and shrimps. Deep-sea 2003: Conference on the Governance and Management of Deep-sea Fisheries. Part 2: Conference poster papers and workshop papers. *FAO Fisheries Proceedings., 3*(2), 40-41.
- Kikuchi, K. & Wang, B. (2008). Diurnal precipitation regimes in the global tropics. *J. Clim., 21*(11), 2680-2696.
- Lavín, M. F., Fiedler, P. C., Amador, J. A., Ballance, L. T., Farber-Lorda, J. & Mestas-Núñez, A. M. (2006). A review of eastern tropical Pacific oceanography: Summary. *Prog Oceanogr., 69*, 391-398. <https://doi.org/10.1016/j.pcean.2006.03.005>
- León-Chávez, C. A., Sánchez-Velasco, L., Beier, E., Lavín, M. F., Godínez, V. M. & Färber-Lorda, J. (2010). Larval

- fish assemblages and circulation in the Eastern Tropical Pacific in Autumn and Winter. *J. Plankton. Res.*, 32(4), 397-410. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbp138>
- López, E. A. (2016). Cambio climático y recursos Marinos. *Rev. Cien. Tec.*, 18, 3-12.
- Magurran, A. E. & Henderson, P. A. (2010). Temporal turnover and the maintenance of diversity in ecological assemblages. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biol. Sci.*, 365(1558), 3611-3620.
- Maldonado, T., Alfaro, E. J. & Hidalgo, H. G. (2018). A review of the main drivers and variability of Central America's Climate and seasonal forecast systems. *Rev. Biol. Trop.*, 66(1), 153-175. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100011>
- Maldonado-Amparo, M., Sánchez-Cárdenas, R., Salcido-Guevara, L. A. & Ramírez-Pérez, J. S. (2017). Gonadal Development of *Peprilus medius* (Peters, 1869) (Perciformes: Stromateidae) from Southeast of the Gulf of California, Mexico. *Int. J. Morphol.*, 35(1), 56-61.
- Mora, C. & Robertson, D. R. (2005). Causes of latitudinal gradients in species richness: a test with fishes of the Tropical Eastern Pacific. *Ecol.*, 86(7), 1771-1782.
- Morato, T., Cheung, W. W. L. & Pitcher, T. J. (2006). Vulnerability of sea mount fish to fishing: fuzzy analysis of life history attributes. *J. Fish. Biol.*, 68, 209-221. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.00894.x>
- Norse, E. A., Brooke, S., Cheung, W. W., Clark, M. R., Ekeland, I., Froese, R., Gjerde, K., Haedrich, R., Heppell, S., Morato, T., Morgan, L., Pauly, D. & Morgan, L. E. (2012). Sustainability of deep-sea fisheries. *Mar. Policy.*, 36(2), 307-320. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2011.06.008>
- Paller, M. (2018). Estimating Fish Species Richness across Multiple Watersheds. *Diversity*, 10(2), 42. <https://doi.org/10.3390/d10020042>
- Páramo, J., Wolff, M. & Saint-Paul, U. (2012). Deep-sea fish assemblages in the Colombian Caribbean Sea. *Fish Res.*, 125-126, 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2012.02.011>
- Powell, M. S., Haedrich, L. R. & McEachran, D. J. (2003). The deepsea demersal fish fauna of the northern Gulf of Mexico. *J. Norhw. Atl. Fish. Sci.*, 31, 19-33. <https://doi.org/10.2960/J.v31.a2>
- Puentes, V., Madrid, N. & Zapata, L. A. (2007). Catch composition of the deep sea shrimp fishery (*Solenocera agassizi* Faxon, 1893; *Farfantepenaeus californiensis* Holmes, 1900 and *Farfantepenaeus brevivirostris* Kingsley, 1878) in the Colombian Pacific Ocean. *Gayana.*, 71(1), 84-95. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382007000100009>
- Ramírez-Llodra, E., Tyler, P. A., Baker, M. C., Bergstad, O. A., Clark, M. R., Escobar, E. & Van Dover, C. L. (2011). Man and the last great wilderness: human impact on the deep sea. *PLoS One*, 6(8), e22588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022588>
- R Core Team. (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Robertson, D. R. & Cramer, K. L. (2009). Shore fishes and biogeographic subdivisions of the Tropical Eastern Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 380, 1-17. <https://doi.org/10.3354/meps07925>
- Robertson, D. R., Angulo, A., Baldwin, C. C., Pitassy, D., Driskell, A., Weigt, L. & Navarro, I. J. (2017). Deep-water bony fishes collected by the B/O Miguel

- Oliver on the shelf edge of Pacific Central America: an annotated, illustrated and DNA-barcoded checklist. *Zootaxa*, 4348(1), 1-125.
- Rojas, P. A. & Zapata, P. L. A. (2006). Peces demersales del Parque Nacional Natural Gorgona y su área de influencia, Pacífico colombiano. *Biota Colombiana*, 7(2), 211-244.
- Rodríguez-Romero, J., Palacios-Salgado, D. S., López-Martínez, J., Hernández-Vázquez, S. & Ponce-Díaz, G. (2008). Composición taxonómica y relaciones zoogeográficas de los peces demersales de la costa occidental de Baja California Sur, México. *Rev. Biol. Trop.*, 56(4), 1765-1783.
- Sasai, Y., Richards, K. J., Ishida, A. & Sasaki, H. (2012). Spatial and temporal variabilities of the chlorophyll distribution in the northeastern tropical Pacific: The impact of physical processes on seasonal and inter annual time scales. *J. Mar. Syst.*, 96, 24-31.
- Sherman, K. & Hempel, G. (2008). *The UNEP Large Marine Ecosystem Report: A perspective on changing conditions in LMEs of the world's Regional Seas*. UNEP Regional Seas Report and Studies No. 182. Kenya: United Nations Environment Programme.
- Spalding, M. D., Agostini, V. N., Rice, J. & Grant, S. M. (2012). Pelagic provinces of the world: a biogeographic classification of the world's surface pelagic waters. *Ocean Coast. Manage.*, 60, 19-30.
- Surfer® 13. (2013). Surfer® Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers, version 13 www.GoldenSoftware.com. EE. UU.: Golden Software, Inc.
- Trasviña, A. & Barton, E. D. (2008). Summer circulation in the Mexican tropical Pacific. *Deep Sea Res.*, 55(5), 587-607.
- Ugland, K. I., Gray, J. S. & Ellingsen, K. (2003). The species-accumulation curve of estimation of species richness. *J. Anim. Ecol.*, 72, 888-897. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2003.00748.x>
- Vásquez, V., Ebert, D. & Long, D. (2015). *Etmopterus benchleyi* n. sp., a new lanternshark (Squaliformes: Etmopteridae) from the central eastern Pacific Ocean. *J. Ocean Sci. Found.*, 43, 43-55.
- Watson, R. A. & Morato, T. (2013). Fishing down the deep: Accounting for within-species changes in depth of fishing. *Fish. Res.*, 140, 63-65. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2012.12.004>
- Wehrtmann, I. S. & Nielsen, M. V. (2009). The deepwater fishery along the Pacific coast of Costa Rica, Central America. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 37(3), 543-554. <https://doi.org/10.3856/vol37-issue3-fulltext-19>
- Wehrtmann, I. S., Arana, P. M., Barriga, E., Gracia, A. & Pezzuto, P. R. (2017). Deep-water shrimp fisheries in Latin America: a review. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(3), 497-535. <https://doi.org/103856/vol40-issue3-fulltext-2>
- Willett, C. S., Leben, R. R. & Lavín, M. F. (2006). Eddies and tropical instability waves in the eastern tropical Pacific: A review. *Prog. Oceanogr.*, 69(2-4), 218-238. <https://doi.org/10.1016/j.pcean.2006.03.010>
- Zapata, F. A. & Robertson, D. R. (2007). How many species of shore fishes are there in the Tropical Eastern Pacific? *J. Biogeogr.*, 34(1), 38-51. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01586.x>

Synchronized sexual reproduction of the seagrass *Syringodium filiforme* (Cymodoceaceae) in a tropical reef lagoon on the Caribbean coast of Costa Rica

Reproducción sexual sincronizada del pasto marino *Syringodium filiforme* (Cymodoceaceae) en la laguna de un arrecife tropical en la costa Caribe de Costa Rica

Jimena Samper-Villarreal^{1*}, Margarita Loría-Naranjo¹, Brigitta I. van Tussenbroek² & Jorge Cortés^{1,3}

ABSTRACT

There has been an increasing effort to understand the mechanisms of sexual reproduction in seagrasses, which is usually synchronized. Synchronization is caused by environmental cues, such as temperature and light availability, and most likely occurs to maximize pollination success. At higher latitudes where seagrass reproductive seasons are clearly marked, intra-annual variability of environmental triggers is significant. Our aim was to identify the period and frequency of sexual reproduction for the manatee grass *Syringodium filiforme* in a tropical coral reef lagoon, where the above-mentioned environmental triggers are homogenous all year round. The reproductive state and frequency and shoot length of *S. filiforme* were measured non-destructively in a monospecific patch on the tropical Caribbean coast of Costa Rica. The meadow was surveyed at 1 to 4-month intervals between May 2010 and May 2012. Water turbidity, temperature, and salinity were measured *in situ*. During the surveyed period, sexual reproduction of *S. filiforme* was detected in February and May, while seagrass shoot length showed no variation. The moment of seagrass sexual reproduction was not fully explained by the environmental parameters studied. Regardless of the limited environmental variability compared to previous studies at higher latitudes, synchronization of seagrass sexual reproduction at this tropical location is interesting and requires further studies on mechanisms and its possible adaptive advantage.

Keywords: flowering, manatee grass, marine angiosperms, phenology, reproductive cymes

- 1 Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica, San Pedro, 11501-2060 San José, Costa Rica; jimena.sampervillarreal@ucr.ac.cr* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7513-7293>; maggie.loria@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4396-7388>, jorge.cortes@ucr.ac.cr ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7004-8649>
- 2 Unidad Académica Sistemas Arrecifales-Puerto Morelos, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México; vantuss@cmarl.unam.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6447-7479>
- 3 Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San Pedro, 11501-2060 San José, Costa Rica

RESUMEN

Ha habido un incremento en los esfuerzos por entender los mecanismos de reproducción sexual en pastos marinos, la cual usualmente ocurre de manera sincronizada. Se considera que esta sincronización se da para maximizar el éxito de la polinización. Esta sincronización en la reproducción sexual de pastos marinos es inducida por señales ambientales, como la temperatura y disponibilidad de luz. A mayores latitudes, donde los pastos marinos tienen períodos de reproducción estacional marcados, la variabilidad interanual de estas señales ambientales es significativa. Nuestro objetivo fue identificar el período de tiempo y frecuencia de reproducción sexual del pasto de manatí, *Syringodium filiforme*, en una laguna de arrecife tropical, donde los factores ambientales mencionados son homogéneos a lo largo del año. El estado y frecuencia reproductiva, así como la longitud de los haces, de *S. filiforme* se midieron de manera no destructiva en un parche monoespecífico de una pradera en la costa Caribe de Costa Rica. Esta pradera se muestreó en intervalos de 1 a 4 meses entre mayo del 2010 y mayo del 2012. La turbidez del agua, temperatura y salinidad se midieron *in situ*. Nuestro estudio identificó reproducción sexual durante el período de muestreo para *S. filiforme* en febrero y mayo en el sitio de estudio; mientras que la longitud de haces no evidenció variación. El momento de reproducción sexual de pasto marino no fue explicado de lleno por los parámetros ambientales estudiados. Su sincronización en esta ubicación tropical, a pesar de contar con variabilidad ambiental limitada en comparación con estudios previos a mayores latitudes, es interesante y amerita más investigación sobre los mecanismos y la posible ventaja adaptativa de la reproducción sexual sincronizada en pastos marinos.

Palabras clave: floración, manatí, angiospermas marinas, fenología, cimas reproductivas

INTRODUCTION

Seagrass meadows provide many ecosystem services, including serving as nursery grounds, contributing to carbon sequestration, supporting complex food webs, and enhancing coastal stability (Orth *et al.* 2006a; Nordlund *et al.* 2018; James *et al.* 2019). Despite their acknowledged importance, seagrass meadows are declining worldwide (Waycott *et al.* 2009). For instance, recent evidence shows seagrass declining in the Caribbean (Van Tussenbroek *et al.* 2014).

Seagrasses are flowering plants that produce seeds, though most populations can be maintained exclusively

through clonal spread by fragmentation and rhizome elongation (Walker *et al.* 2001; Kendrick *et al.* 2005; Ackerman, 2006; Kendrick *et al.* 2012). Several decades ago, sexual reproduction was considered unimportant. However, new genetic studies and the development of new markers have now revealed higher seagrass genetic variability than what was previously thought, leading to a new paradigm of sexual reproduction with a more significant role in seagrass population dynamics (Marbà & Walker, 1999; Waycott *et al.* 2006; Van Tussenbroek *et al.* 2009). Sexual reproduction leads to higher genetic diversity and potential population fitness (Bijak *et al.*

2018), which in turn is essential for meadow resilience.

Research efforts have been increased to understand the processes involved in the sexual reproduction of seagrasses (Orth *et al.* 2006b; Van Tussenbroek *et al.* 2009; Kendrick *et al.* 2012; McMahan *et al.* 2014) and the role of marine animals in floral or seed predation, pollination, or dispersal of seeds (Van Tussenbroek *et al.* 2012; Van Tussenbroek & Muhlia-Montero, 2013; Van Tussenbroek *et al.* 2016b). Seagrasses have a suite of morphological and anatomical adaptations to enable sexual reproduction in the marine environment (Van Tussenbroek *et al.* 2009). However, an often-overlooked adaptation to reproduction in the sea is the timing of sexual reproduction.

Seagrass sexual reproduction is synchronized most likely to maximize pollination as a response mechanism to limited pollen dispersal, potential pollen wastage, or flower herbivory (Van Tussenbroek *et al.* 2008; Van Tussenbroek *et al.* 2016a). This synchronization in sexual reproduction can occur daily or be caused by environmental cues, such as lunar cycles, tides, and solar radiation (Van Tussenbroek *et al.* 2009). Synchronization also occurs seasonally and has been reported for species at tropical locations where environmental conditions for sexual reproduction are likely favorable throughout the year (Walker *et al.* 2001; Van Tussenbroek *et al.* 2009).

Syringodium filiforme Kützinger (“manatee seagrass”) is a tropical seagrass found in the western tropical Atlantic from Florida (USA) to Venezuela, including the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea, and Bermuda (Short *et al.* 2010). Classified as a colonizer or opportunistic seagrass, its resistance capacity is low compared to other seagrasses (Bijak *et al.* 2018; O’Brien *et al.* 2018b). Population genetics using microsatellite markers has evidenced limited genetic diversity for *S. filiforme* in Florida and the subtropical Atlantic region (Bijak *et al.* 2018). *Syringodium filiforme* limited distribution, low genetic diversity, and life strategy highlight the need to further understand its sexual reproductive mechanisms.

This seagrass species reproduces asexually as well as sexually. Asexual reproduction occurs with the horizontal growth of its monopodial rhizome and leads to extensive genetically identical rhizome sections, while sexual reproduction in this dioecious species occurs by pollination of flowers on terminal cymose inflorescences (Tomlinson & Posluszny, 1978). Sexual reproduction for this species has been reported to occur between January and September at various locations within its distribution range (Table 1). In its northern distribution, this species shows seasonal variation in leaf morphology, productivity, and biomass (Barber & Behrens, 1985; Fry & Virnstein, 1988;

Van Tussenbroek, 1994), as well as sexual reproduction (Zimmerman & Livingston, 1976; McMillan, 1980). In the Mexican Caribbean, biomass and leaf size of *S. filiforme* are smaller during winter months (Van Tussenbroek 1994). Temperature has been reported as the driving factor for sexual reproduction of *S. filiforme*, which has also been influenced by salinity and photoperiod (McMillan, 1976). However, in the southern distribution, where temperature and photoperiod remain relatively stable throughout the year, the question remains if sexual reproduction of *S. filiforme* occurs consistently throughout the year or it is synchronized, as seen at the more northern locations for this species.

In this study, we identified seasonal patterns in the sexual reproduction of *S. filiforme* on the continental coast of Costa Rica (latitude $\sim 10^\circ$ N) in the tropical Caribbean. It was hypothesized that if sexual synchronization were essential for reproductive success for this seagrass species, reproduction would occur at a well-defined period in the year. On the contrary, if synchronization were not essential, then sexual reproduction would occur throughout the year.

MATERIALS AND METHODS

Study area

Located on the southern Caribbean coast of Costa Rica ($9^\circ 44' 13''$ N, $82^\circ 48' 24''$ W) (Fig. 1), Cahuita National Park is a tropical location at a low latitude with warm air temperatures and high amount of light throughout the year (Cortés, 2016; Villalobos-Flores & Rojas-Morales, 2016). Tidal variation at this location is less than 50 cm, with mixed and semidiurnal tides (Lizano, 2006). Mean annual precipitation at the study site is approximately 3 500 mm, with two periods of lower precipitation, the first one in March and the second one in September and October. During the second dry period, runoff is increased overall due to higher precipitation at the catchment level (Villalobos-Flores & Rojas-Morales, 2016) (Fig. 2). According to historical data, solar radiation, total hours of sunlight, and temperature are at their peak during both dry periods (Villalobos-Flores & Rojas-Morales, 2016), while tidal range is at its lowest values on both occasions (Fig. 2).

In the Caribbean coast of Costa Rica there are six seagrass species and the most extensive meadows are found in Cahuita and Manzanillo (Samper-Villarreal *et al.* 2018). In Cahuita, seagrass meadows develop in the reef lagoon formed behind the reef

Table 1. Sexual reproductive period of *S. filiforme* in the field reported in the literature

Cuadro 1. El período reproductivo sexual de *S. filiforme* en el campo reportado en la literatura

Location	Latitude (°)	Sexual reproduction reported	Year sampled	Reference
<i>Gulf of Mexico</i>				
Texas	27	May, September	1974	McMillan (1976)
	26	April, May	1978	McMillan (1980)
	26	June	1978	McMillan (1980, 1981)
	26	July	1979	McMillan (1981)
Florida	30	May, June	1972	Zimmerman & Livingston (1976)
	25	February	1978	Tomlinson & Posluszny (1978)
	25	May, June	1979	McMillan (1980, 1981)
	25	April	1978	McMillan (1980)
	24	February	1977, 1978	McMillan (1980)
	24	April	1978	McMillan (1980)
	24	May, June	1979	McMillan (1980)
	24	July	1916	Taylor (1928)
	24	Summer	1915 & 1916	Bowman (1918)
<i>Caribbean Islands</i>				
Jamaica	18	February	sometime between 1974 and 1979)	McMillan (1980)
US Virgin Islands	17	February	1976, 1977, 1978	McMillan (1980)
	17	April	1978	McMillan (1981)
	17	May	1978	McMillan (1981)
	17	May, June	1979	McMillan (1980, 1981)
	17	April	1975	pers. com. in McMillan (1980, 1981)
	17	February to May	1975	Johnson & Williams (1982)
<i>Caribbean</i>				
Mexico	20	January to July	1990 to 1991	Van Tussenbroek (1994)
	19	March	sometime between 1974 and 1979)	McMillan (1980)
Costa Rica	9	February & May	2010 to 2012	This study

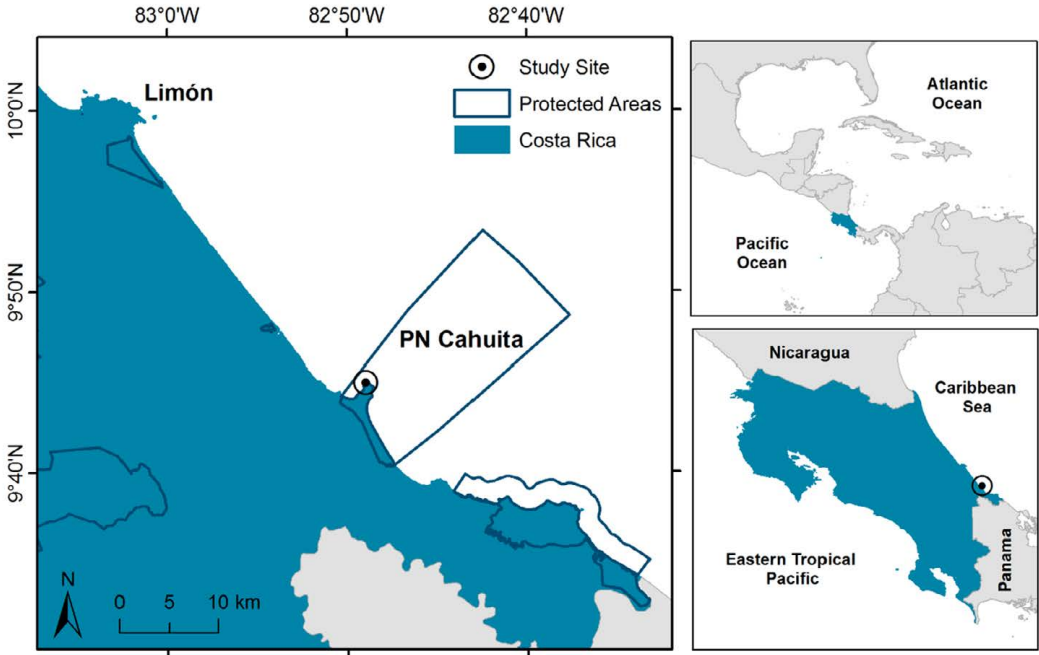


Fig. 1. Location of the seagrass study site on the southern Caribbean coast of Costa Rica. Protected Wildlife Areas from the National System of Conservation Areas of Costa Rica (SINAC) are delimited, highlighting Cahuita National Park

Fig. 1. Ubicación del sitio de estudio en la costa Caribe Sur de Costa Rica. Se delimita las Áreas Protegidas del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), resaltando el Parque Nacional Cahuita

crest, and *Thalassia testudinum* is the dominant seagrass species. Seagrasses have been monitored regularly in Cahuita since 1999 as part of the Caribbean Coastal Marine Productivity (CARICOMP) Caribbean-wide monitoring program (Fonseca *et al.* 2007; Cortés *et al.* 2010; Loria-Naranjo *et al.* 2018). At the time of this study, *Syringodium filiforme* grew in these meadows in dense mono-specific patches (Fig. 3), which grew closer to the beach or in recent sites of disturbance

due to small boat anchors. Seagrass patch extension varied slightly among sampling dates due to normal dynamic variability within the meadows (JSV pers. obs.). Sampled seagrasses were monospecific *S. filiforme* patches at <1 m depth, constricted to a maximum of 50 m distance from the shoreline with no evident damage from boat anchors during the sampling period. The sampled location was near the CARICOMP seagrass monitoring location in Cahuita.

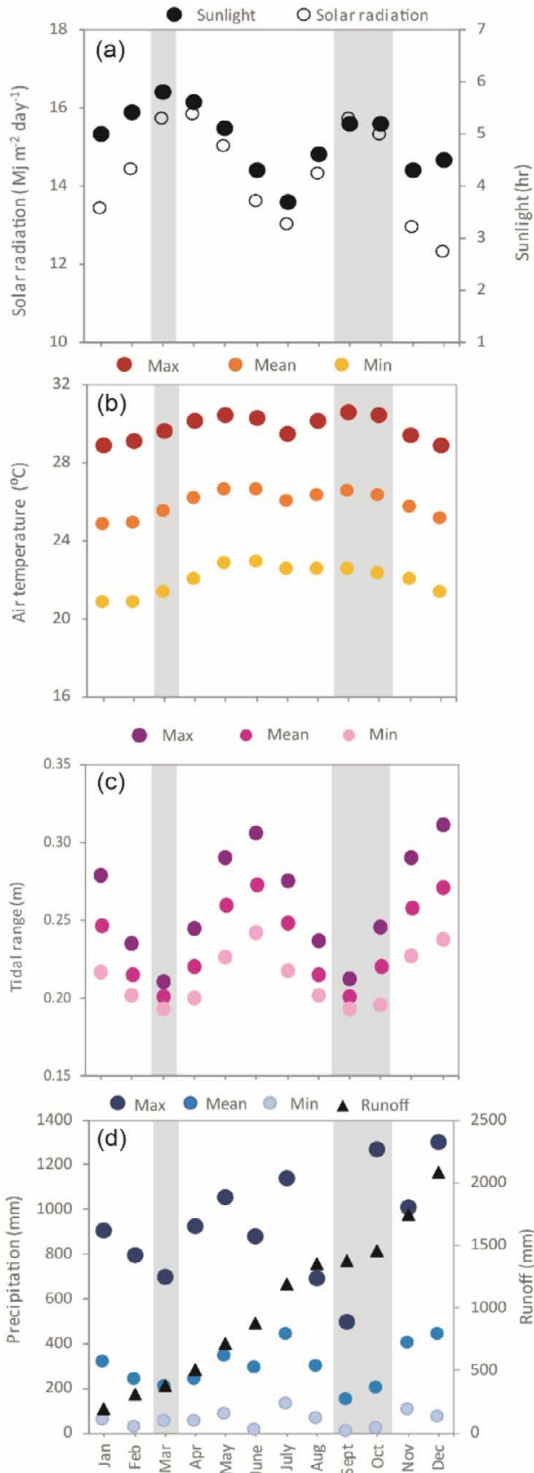


Fig. 2. Average environmental conditions at the study site. Mean solar radiation from 1970 to 2016 and hours of sunlight from 1969 to 2016 per month (A). Mean, maximum and minimum monthly air temperature from 1970 to 2016 (B). Mean, maximum and minimum monthly tidal range at the study site between 1970 and 2016 (C). Mean, maximum and minimum monthly precipitation from 1941 to 2016, and estimated runoff per month (D). Grey shading highlights the two dry seasons at the site. Data sources: IMN, MIO CIMAR, and Villalobos-Flores and Rojas-Morales (2016)

Fig. 2. Condiciones ambientales promedio en el sitio de estudio. Radiación solar promedio desde 1970 hasta el 2016 y horas de luz solar desde 1969 hasta el 2016 por mes (A). Temperatura mensual del aire promedio, máxima y mínima, desde 1970 hasta el 2016 (B). Rango de marea promedio, máximo y mínimo en el sitio de estudio entre 1970 y el 2016 (C). Precipitación mensual promedio, máxima y mínima, desde 1941 hasta el 2016 y escorrentía estimada por mes (D). Las barras grises resaltan los dos períodos secos en el sitio. Fuentes de datos: IMN, MIO-CIMAR y Villalobos-Flores and Rojas-Morales (2016)

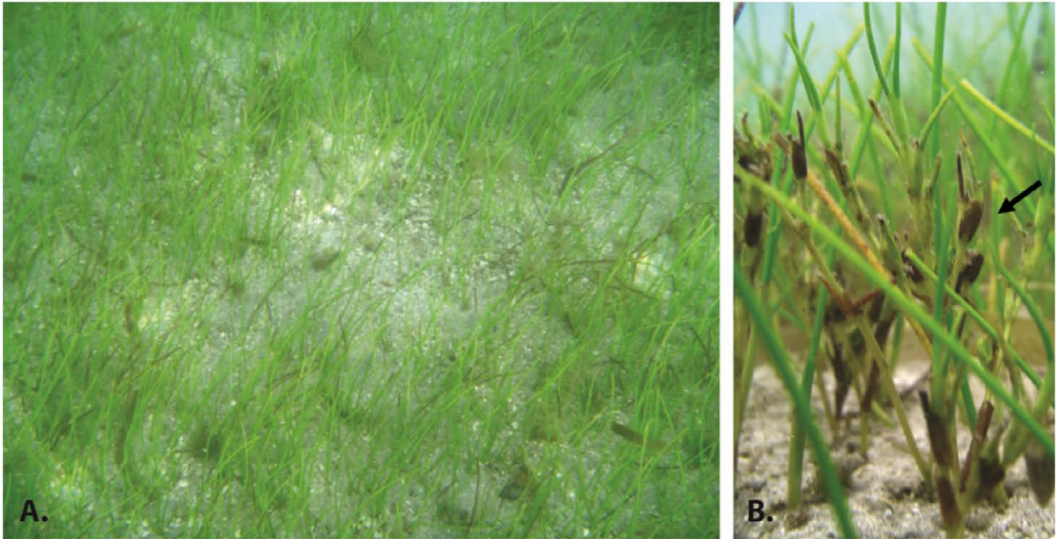


Fig. 3. Seagrass meadows at Cahuita National Park, southern Caribbean coast of Costa Rica. Monospecific patches of the seagrass *S. filiforme* (A); close up of reproductive cymes (B, arrow)

Fig. 3. Praderas de pastos marinos en el Parque Nacional Cahuita, costa Caribe Sur de Costa Rica. Parches monoespecíficos de *S. filiforme* (A); acercamiento de cimmas reproductivas (B, flecha)

Reefs and meadows in Cahuita have been under siltation stress from catchment development and farming for an extended period (Cortés & Risk, 1985; Cortés *et al.* 2010), which leads to frequent and high turbidity conditions. These meadows have declined in recent years, in part potentially due to environmental deterioration linked to human activity (Van Tussenbroek *et al.* 2014).

Seagrass

The reproductive state and length of *S. filiforme* shoots were recorded in the field between May 2010

and May 2012. Shoots were selected randomly within a 50 x 50 m area of the meadow, at approximately 50 cm minimum distance between subsequent shoots. These non-destructive surveys were done at two-month intervals or at the closest possible date due to frequent challenges regarding environmental conditions that prevented access to the site or field estimations due to high water turbidity. Sexual reproduction was recorded as either *reproductive* when cymes were present on the shoot or *non-reproductive* when cymes were absent; cyme sex was not

recorded. The reproductive state was recorded for 50 shoots on each survey between May 2010 and June 2011. To incorporate shoot length measurements within the available time in the field, the number of shoots to record reproductive state was reduced to 25 shoots between August 2011 and May 2012. Maximum shoot length was determined by measuring the longest leaf with a ruler *in situ* for 25 shoots per survey between February 2011 and May 2012.

To complement the survey resolution of the study and compare our findings with those of previous collection time periods, we analyzed the presence of reproductive structures in *S. filiforme* herbarium samples from Cahuita in collections of the National Herbarium of Costa Rica (CR) and the Herbarium of the School of Biology at the University of Costa Rica (USJ).

Environmental variables

Data on water temperature, salinity, and turbidity was obtained from the CARICOMP monitoring station at this meadow. Water temperature was measured *in situ* with a Hobo logger (Onset) at 15-min intervals (Fonseca *et al.* 2007; Cortés *et al.* 2010). Salinity was measured in the lab using a hand-held refractometer (ATAGO) from a subsurface ~ 50 mL water sample collected at the site. Given that the shallow depth of the site was frequently less than the Secchi measurements, water turbidity was estimated

with horizontal Secchi disk measurements, parallel to the sea floor. Secchi measurements were carried out at least four times at each survey, once towards each cardinal point. Water salinity and turbidity were measured to incorporate short-term variability on additional dates whenever possible, associated with other projects conducted in the meadow. Tidal range was defined as the variation of subsequent tides. Tidal data was provided by the Oceanographic Information Module at the Research Center for Marine Sciences and Limnology (*Módulo de Información Oceanográfica-Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología*, MIO-CIMAR). Monthly total precipitation was obtained from the nearest station (Limón) of the Costa Rican National Meteorological Institute (*Instituto Meteorológico Nacional*, IMN) and previous publications on Costa Rican Caribbean climate (Villalobos-Flores & Rojas-Morales, 2016).

Data analysis

Variability in shoot reproductive state and frequency of reproductive shoots among surveyed months were analyzed using linear models with Tukey post hoc analyses. Shoot length variability and its relationship with mean water temperature, salinity, turbidity, and precipitation for the surveyed months were analyzed using linear mixed effects models (LMER) with maximum likelihood and date as

the random effect (Bates *et al.* 2012). Variability in water salinity, turbidity, and temperature between months and years was also analyzed using LMER. This approach accounted for the non-independence of data. Given the limited number of samples, linear regressions were used to analyze the relationship between reproductive frequency and leaf length, mean monthly salinity, water temperature and turbidity, as well as total precipitation. Tidal range variability was analyzed per month with LMER, with year and day as random effects. All analyses were conducted in R v.3.2.5 (R Development Core Team, 2012). Normality and homoscedasticity of model residuals were determined by visual estimation of “Quantile–Quantile” and “Residuals vs Fitted” plots (Crawley, 2007).

RESULTS

Seagrass sexual reproduction and length

Sexual reproduction of *S. filiforme* showed a punctuated reproduction period, with cymes present in February and May and consistently absent during the other sampling dates (Table 2). When reproductive cymes were present, the frequency of reproductive shoots was between 8 and 38% (Table 2). Shoot length of *S. filiforme* showed no variability among sampled months ($\chi^2 = 4.7$, $df = 4$, $P = 0.3$, Table 2), and ranged from 4 to 36 cm. There was no significant correlation between the frequency of reproductive shoots and shoot length ($r = 0.4$, $P = 0.5$, $n = 6$).

Table 2. *Syringodium filiforme* shoot length and reproductive frequency measured *in situ* per sampling date between 2010 and 2012 (mean \pm standard deviation). Cahuita National Park, southern Caribbean of Costa Rica. (-) no data
 Cuadro 2. Longitud de haces y frecuencia reproductiva de *S. filiforme* medidas *in situ* por fecha de muestreo entre 2010 y 2012 (promedio \pm desviación estándar). Parque Nacional Cahuita, Caribe Sur de Costa Rica. (-) sin datos

	February	May	June	August	October	November
Reproductive frequency (%)						
2010	-	38	-	0	0	0
2011	20	-	0	0	0	-
2012	8	28	-	-	-	-
Shoot length (cm)						
2011	14 \pm 4	-	17 \pm 3	13 \pm 5	17 \pm 4	-
2012	20 \pm 3	21 \pm 7	-	-	-	-

Environmental variables

Water salinity, turbidity and temperature varied among the months surveyed at the study site. Salinity was lowest in April ($\chi^2 = 55.0$, $df = 9$, $P < 0.001$, Fig. 4) while water was more

turbid in December compared to other months ($\chi^2 = 57.5$, $df = 9$, $P < 0.001$, Fig. 4). Water temperature was the coldest at the beginning and the end of the year ($\chi^2 = 67.526$, $df = 9$, $P < 0.001$, Fig. 4).

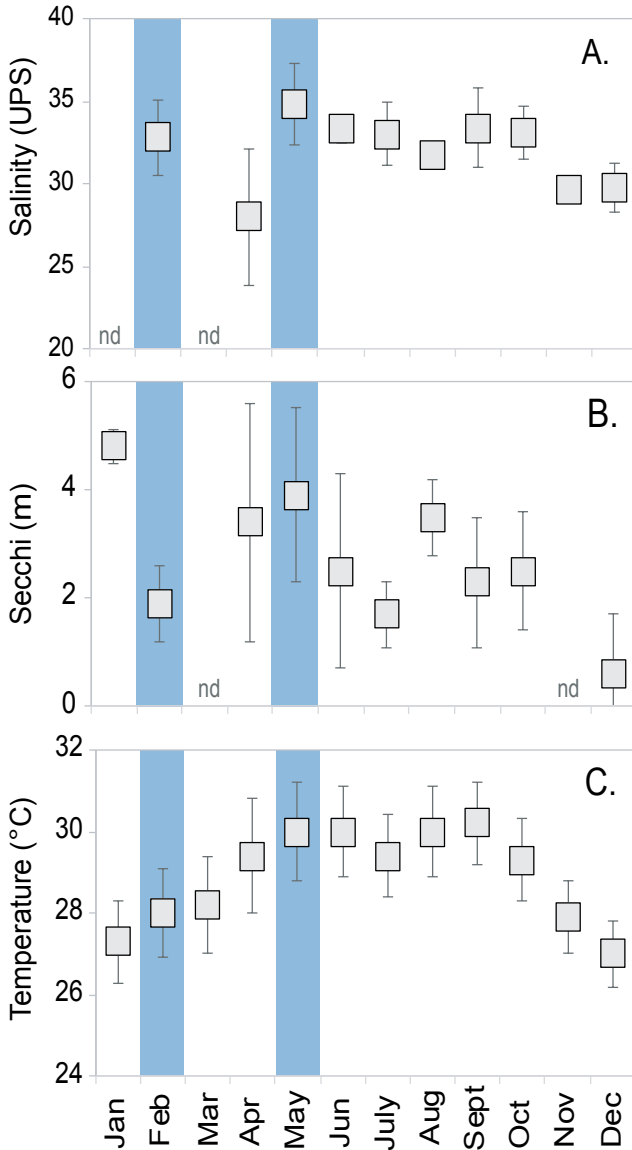


Fig. 4. Water salinity (A), turbidity measured with Secchi disk (B), and temperature (C) measured *in situ* per sampling date between 2010 and 2012 (mean \pm standard deviation). Cahuita National Park, southern Caribbean of Costa Rica. (nd) no data. Salinity n =between 3 and 6 per month. Turbidity (Secchi) n =between 5 and 10 per month. The reproductive periods found in this study are highlighted in light blue

Fig. 4. Salinidad (A), turbidez medida con el disco Secchi (B) y temperatura (C), medidos *in situ* por fecha de muestreo entre 2010 y 2012 (promedio \pm desviación estándar). Parque Nacional Cahuita, Caribe Sur de Costa Rica. (nd) sin datos. Salinidad n = entre 3 y 6 por mes. Turbidez (Secchi) n = entre 5 y 10 por mes. Períodos reproductivos encontrados en este estudio están resaltados en celeste

The frequency of *S. filiforme* reproductive shoots was not explained by water column temperature ($r = 0.1$; $P = 0.7$), salinity ($r = 0.3$; $P = 0.4$), turbidity ($r = 0.2$; $P = 0.6$), or monthly total precipitation ($r = 0.2$; $P = 0.5$). Shoot length showed no relationship with water temperature ($x^2 = 0.0$, $df = 4$, $P = 0.9$), water turbidity ($x^2 = 0.0$, $df = 4$, $P = 0.9$), or total monthly precipitation ($x^2 = 0.3$, $df = 4$, $P = 0.6$). Shoot length did increase slightly at higher salinity levels ($x^2 = 8.5$, $df = 4$, $P < 0.01$), despite the lack of clear patterns between turbidity and salinity ($r = 0.1$; $P = 0.8$), turbidity and precipitation ($r = -0.4$; $P = 0.3$), or salinity and precipitation ($r = -0.4$; $P = 0.2$). Tidal range was smaller during both dry seasons throughout the year ($x^2 = 1904.8$, $df = 12$, $P < 0.01$; Fig. 2).

DISCUSSION

Sexual reproduction of *S. filiforme* was synchronized at our tropical location in the southern Caribbean, without a clear link to the environmental triggers measured. Reproductive cymes were present in February and May, while cymes were consistently absent in June, August, October, and November between 2010 and 2012 at this tropical site. The reproductive period for *S. filiforme* in the Caribbean and the Gulf of Mexico is between January and September (Table 1). The timing of *S. filiforme* reproduction

found at this tropical location fell within the total reproductive season for this species. The survey resolution of our study was affected by periods of increased wave energy, lightning storms, and diminished water clarity due to increased precipitation, which did not allow access to the field site or data collection once in the field on multiple dates. Therefore, flowering outside the surveyed dates of the study may have been missed, and more detailed phenological studies of *S. filiforme* should be conducted at increased temporal resolutions at tropical locations.

In August 1983 (CR-138191) and November 1972 (CR-50020) only vegetative shoots were collected at this tropical site, which coincides with our findings reflecting a lack of reproductive structures at Cahuita during those months. Vegetative shoots were also collected in January 2008 (USJ-92780) and July 1962 (Den Hartog, 1970), which were months not surveyed in this study. Reproductive shoots were collected in February (USJ-104919 and duplicates) and May 2004 (USJ-104913), also coinciding with our observations on the timing of *S. filiforme* reproductive state in the field. Reproductive samples were also collected in March 2005 (USJ-104921), April 1982 (USJ-037843), and July 1992 (CR-167852). This data fell outside our surveyed months and may indicate that the seasonal period extends from February to July. In contradiction

to this proposed reproductive period, only vegetative samples were collected in April 1978 (USJ-017312) and 2012 (CR-273679). This might indicate that reproductive efforts may potentially vary among years or spatially within the same meadow.

Small scale spatial variability of environmental conditions may lead to variations in flowering frequency. In St. Croix, sexual reproduction of *S. filiforme* has varied from meadow to meadow at different depths or locations, some flowering very frequently to others flowering rarely (McMillan, 1980). In a coastal fringe in the Mexican Caribbean, average *S. filiforme* density was 412 cymes m⁻², varying between only 11 cymes m⁻² up to 1 067 cymes m⁻² (Van Tussenbroek & Muhlia Montero, 2013). The type of sediment at each meadow has also been suggested as a potential factor in the reproductive frequency, with higher fecundities in coarser sediments and lower fecundities in silty sediments (McMillan, 1980). At our study site, reproductive frequency was only between 8% and 38%, even when flowering cymes were noted in the field. Therefore, there appears to be small scale spatial variability in *S. filiforme* flowering within our study site. It is possible that, when herbarium samples were collected in April, reproductive cymes could have been present yet not collected.

In contrast to locations at higher latitudes, environmental conditions at this tropical site were likely favorable for sexual reproduction throughout the year or at least during both dry periods. Contrasting these homogeneous conditions, *S. filiforme* reproductive cymes were only found in a limited time period; therefore, flowering could not be fully explained by the environmental variables analyzed. Although flowering coincided with the first dry period of the year at this location, sexual reproduction of *S. filiforme* did not occur during the second dry period. The first dry period occurred after increasing solar radiation and a slight rise in water temperature since the beginning of January, which may have influenced the onset of the flowering season. The second dry period had increased runoff conditions due to higher precipitation in the mountainous upper catchments, while the coastal region experiences drier conditions. This increased runoff may not be conducive to reproductive efforts. The absence of reproductive cymes during the second dry period at our tropical location, despite favorable conditions, suggests that the reproductive cycle of *S. filiforme* is regulated. Such marked programming is possibly necessary to synchronize male and female reproductive functions due to pollen limitation, as suggested by Van Tussenbroek *et al.* (2008) and Van Tussenbroek *et al.* (2016a). Future studies on this topic for *S. filiforme* should

provide further details on flower sex and apply experimental approaches.

Another potential factor influencing flowering of *S. filiforme* is nutrient availability, which may be linked to catchment effluent input. Sexual reproduction of *S. filiforme* has been reported to occur at higher frequencies under limited nutrient conditions, with high nitrogen inhibiting flowering under controlled laboratory conditions (McMillan, 1980). However, higher concentrations of ammonium in sediment pore water led to higher flowering frequencies for a larger temperate seagrass, *Zostera*, under long-term conditions, but less marked in shorter experimental exposure periods (Johnson *et al.* 2017). Therefore, the specific effect of nutrient concentration on seagrass flowering may potentially differ among species, length of the nutrient loading or deprivation event, and/or locations.

In colder regions of the Greater Caribbean, such as northern Florida, *S. filiforme* reproduction may not occur, even during summer, unless during exceptionally warm years (Gilbert & Clark, 1981). Anomalous timing of reproduction of *S. filiforme* was reported at a tropical location in Mexico following the passing of a strong Hurricane (Wilma), which led to an abrupt 10°C decline in sea water temperature and the subsequent flowering of *S. filiforme* in December of 2005, approximately eight weeks earlier than usual

for that location. The *S. filiforme* reproductive period in our study follows the coldest months for this tropical location (Table 2, Fig. 2). The limited variation in average temperature found at our tropical study site (27-30°C min-max, Fig. 2), albeit much smaller than in subtropical locations (i.e. 9-31°C, Zimmerman & Livingston, 1976), may be enough to trigger sexual reproduction. Previous experimental studies on *S. filiforme* flowering found that this seagrass could be induced to flower at specific temperatures (20-24°C), yet the specific temperature triggering flowering depended on the location the plant had been collected (McMillan, 1980). Follow-up manipulative experiments of varying ranges of variability in the field or in an aquarium setting would help clarify the specific role of temperature fluctuations as an environmental trigger of sexual reproduction in *S. filiforme* at lower latitudes.

Light availability may also influence sexual reproduction at this tropical Caribbean location, although it is a multicausal condition at this site with high variability. During the study, cyme production coincided with yearly increased number of hours of available light i.e. photoperiod and light intensity. Photoperiod variations have been shown to affect sexual reproduction of *S. filiforme* in a controlled laboratory study (McMillan, 1980). However, seagrasses have been triggered to flower under continuous light

conditions, which indicates that other factors are also involved under sufficient available light (McMillan, 1982). In contrast to high light availability during the first dry period, conditions for most of the year include high precipitation at the study site or further up the catchment and subsequent runoff input (Villalobos-Flores & Rojas-Morales, 2016), limiting light availability for seagrasses.

There also appears to be high short-term variation in light availability at our study site, in part due to pulsed catchment effluent input and increased wind and wave energy leading to resuspension of fine sediment (JSV pers. obs.). The flowering frequency of the temperate seagrass *Zostera* is known to diminish under long-term shaded conditions (Johnson *et al.* 2017). Seagrass response to diminished light availability can vary within seagrass meadows, and *S. filiforme*, as a colonizing seagrass species, has lower tolerance for light deprivation than more persistent seagrass species (O'Brien *et al.* 2018a). Sexual reproduction for the development of a seed bank prior to periods of diminished environmental conditions, including light deprivation, is a recovery strategy reported for other tropical seagrasses (Rasheed *et al.* 2014). In contrast to more temperate locations, conditions near the Equator may be suitable with abundant light all year round. Nonetheless, temporal

variation of light availability is a complex and multicausal factor.

The sexual reproduction of *S. filiforme* also coincided with one of two periods of lowest and more stable tidal ranges. The tidal variation on the Caribbean coast of Costa Rica is less than 50 cm and sometimes is mixed and others semidiurnal (Lizano, 2006). Overall, the Caribbean is microtidal, with variations of 10 to 20 cm (Kjerfve, 1981). Higher fecundity rates of *S. filiforme* have been reported in St. Croix meadows near the low tide line (McMillan, 1980). *Thalassia testudinum* sexual reproduction is also synchronized in our study location, occurring between March and August (Nielsen-Muñoz & Cortés, 2008; Cortés *et al.* 2010), similar to *S. filiforme*, at the lowest tides of the year (Nielsen-Muñoz & Cortés, 2008). Further analyses are needed to understand the underlying mechanisms of tidal variation as a triggering factor for seagrass sexual reproduction at tropical latitudes.

There was no variability in *S. filiforme* shoot length between the months surveyed, in contrast with the seasonality found in other parts of the Caribbean. Seasonal variation in leaf dynamics (Barber & Behrens, 1985; Fry & Virnstein, 1988; Short *et al.* 1993) and biomass (Van Tussenbroek, 1994) have been reported in more northern locations. At the study location, *T. testudinum* leaf dynamics show intra- and inter-annual variation

(Loría-Naranjo *et al.* 2018), with biomass and productivity reported to decrease at higher temperatures (Cortés *et al.* 2010). The reasons for a lack of variation in *S. filiforme* shoot length during our study remain unclear, and potential confounding factors such as grazing dynamics (Valentine & Duffy, 2006) should be assessed at this study site.

Seagrass conservation and management efforts should consider seagrass species reproduction and dispersal mechanisms, which are potential key factors in seagrass genetic variability and meadow resilience. The punctuated sexual reproduction of two seagrass species at this site close to the equator, with much more subtle environmental forcing than those in higher latitudes, is interesting and merits further investigation on the mechanisms and possible adaptive advantage of synchronized reproduction in seagrasses.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was funded by Vicerrectoría de Investigación and Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) at Universidad de Costa Rica. This work was supported by CARICOMP monitoring program in Costa Rica (CIMAR project 808-96-298). We would like to thank the assistants and volunteers that helped during the sampling period.

The environmental data was provided by IMN and tide data was provided by the MIO module at CIMAR. We would also like to thank the local community of Cahuita, the personnel at Cahuita National Park, and the administrative staff at CIMAR for their support throughout the project.

REFERENCES

- Ackerman, J. D. (2006). Sexual reproduction of seagrasses: pollination in the marine context. In A. Larkum, R. Orth & C. Duarte (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation* (pp. 89-109). The Netherlands: Springer.
- Barber, B. J. & Behrens, P. J. (1985). Effects of elevated temperature on seasonal in situ leaf productivity of *Thalassia testudinum* Banks ex König and *Syringodium filiforme* Kützing. *Aquat. Bot.*, 22(1), 61-69. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(85\)90029-4](https://doi.org/10.1016/0304-3770(85)90029-4)
- Bates, D., Maechler, M. & Bolker, B. (2012). lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4 classes. R package version 0.999999-0.
- Bijak, A. L., Van Dijk, K. & Waycott, M. (2018). Population structure and gene flow of the tropical seagrass, *Syringodium filiforme*, in the Florida Keys and subtropical Atlantic region. *PLoS ONE*, 13(9), e0203644. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203644>
- Bowman, H. H. M. (1918). Botanical ecology of the Dry Tortugas. *Pap. Mar. Biol. Carnegie Inst. Wash.*, 12, 111-137.
- Cortés, J. (2016). The Caribbean coastal and marine ecosystems. In M. Kappelle (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 591-617). Chicago: University of

- Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226121642.003.0017>
- Cortés, J., Fonseca, A. C., Nivia-Ruiz, J., Nielsen-Muñoz, V., Samper-Villarreal, J., Salas, E.... & Zamora-Trejos, P. (2010). Monitoring coral reefs, seagrasses and mangroves in Costa Rica (CARICOMP). *Rev. Biol. Trop.*, 58(Suppl. 3), 1-22.
- Cortés, J. & Risk, M. J. (1985). A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. *Bull. Mar. Sci.*, 36(2), 339-356.
- Crawley, M. J. (2007). *The R book*. England: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470515075>
- Den Hartog, C. (1970). *The Sea-Grasses of the World*. The Netherlands and England: North-Holland Publishing Company.
- Fonseca, A. C., Nielsen, V. & Cortés, J. (2007). Monitoreo de pastos marinos en Perezoso, Cahuita, Costa Rica (sitio CARICOMP). *Rev. Biol. Trop.*, 55(1), 55-66.
- Fry, B. & Virnstein, R. W. (1988). Leaf production and export of the seagrass *Syringodium filiforme* Kütz. in Indian River Lagoon, Florida. *Aquat. Bot.*, 30(3), 261-266. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(88\)90057-5](https://doi.org/10.1016/0304-3770(88)90057-5)
- Gilbert, S. & Clark, K. B. (1981). Seasonal variation in standing crop of the seagrass *Syringodium filiforme* and associated macrophytes in the Northern Indian River, Florida. *Estuaries*, 4(3), 223-225. <https://doi.org/10.2307/1351479>
- James, R. K., Silva, R., Van Tussenbroek, B. I., Escudero-Castillo, M., Mariño-Tapia, I., Dijkstra, H. A.... & Bouma, T. J. (2019). Maintaining tropical beaches with seagrass and algae: a promising alternative to engineering solutions. *BioScience*, 69(2), 136-142. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy154>
- Johnson, A. J., Moore, K. A. & Orth, R. J. (2017). The influence of resource availability on flowering intensity in *Zostera marina* (L.). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 490, 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.02.002>
- Johnson, E. A. & Williams, S. (1982). Sexual reproduction in seagrasses: reports for five Caribbean species with details for *Halodule wrightii* Aschers and *Syringodium filiforme* Kütz. *Carib. J. Sci.*, 18(1-4), 61-70.
- Kendrick, G. A., Duarte, C. M. & Marbà, N. (2005). Clonality in seagrasses, emergent properties and seagrass landscapes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 290, 291-296. <https://doi.org/10.3354/meps290291>
- Kendrick, G. A., Waycott, M., Carruthers, T. J., Cambridge, M. L., Hovey, R., Krauss, S. L. ... & Vidal, O. M. (2012). The central role of dispersal in the maintenance and persistence of seagrass populations. *BioScience*, 62(1), 56-65. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.10>
- Kjerfve, B. (1981). Tides of the Caribbean Sea. *J. Geophys. Res.* 86(C5), 4243-4247. <https://doi.org/10.1029/JC086iC05p04243>
- Lizano, O. G. (2006). Algunas características de las mareas en la costa Pacífica y Caribe de Centroamérica. *Ciencia y Tecnología*, 24(1), 51-64.
- Loría-Naranjo, M., Samper-Villarreal, J., Sandoval-Siles, M. & Cortés, J. (2018). Intra- and inter-annual variation in a seagrass meadow on the Caribbean coast of Costa Rica: 2009-2015. *Rev. Biol. Trop.*, 66(3), 1149-1161. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i3.31035>
- Marbà, N. & Walker, D. I. (1999). Growth, flowering, and population dynamics of temperate Western Australian seagrasses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 184, 105-118. <https://doi.org/10.3354/meps184105>

- McMahon, K., Van Dijk, J. K., Ruiz-Montoya, L., Kendrick, G. A., Krauss, S. L., Waycott, M... & Duarte, C. (2014). The movement ecology of seagrasses. *Proc. R. Soc. London, Ser. B*, 281, 20140878. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.0878>
- McMillan, C. (1976). Experimental studies on flowering and reproduction in seagrasses. *Aquat. Bot.*, 2, 87-92. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(76\)90011-5](https://doi.org/10.1016/0304-3770(76)90011-5)
- McMillan, C. (1980). Reproductive physiology in the seagrass, *Syringodium filiforme*, from the Gulf of Mexico and the Caribbean. *Am. J. Bot.*, 67(1), 104-110. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1980.tb07628.x>
- McMillan, C. (1981). Seed reserves and seed germination for two seagrasses, *Halodule wrightii* and *Syringodium filiforme*, from the western Atlantic. *Aquat. Bot.*, 11, 279-296. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1980.tb07628.x>
- McMillan, C. (1982). Reproductive physiology of tropical seagrasses. *Aquat. Bot.*, 14, 245-258. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(82\)90102-4](https://doi.org/10.1016/0304-3770(82)90102-4)
- Nielsen-Muñoz, V. & Cortés, J. (2008). Abundancia, biomasa y floración de *Thalassia testudinum* (Hydrocharitaceae) en el Caribe de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 56(Suppl. 4), 175-189.
- Nordlund, L. M., Jackson, E. L., Nakaoka, M., Samper-Villarreal, J., Beca-Carretero, P. & Creed, J. C. (2018). Seagrass ecosystem services - what's next? *Mar. Pollut. Bull.*, 134, 145-151. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.014>
- O'Brien, K. R., Adams, M. P., Ferguson, A. J., Samper-Villarreal, J., Maxwell, P. S., Baird, M. E. & Collier, C. (2018a). Seagrass resistance to light deprivation: Implications for resilience. In A. W. D. Larkum, G. A. Kendrick & P. J. Ralph (Eds.), *Seagrasses of Australia* (pp. 287-311). The Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71354-0_10
- O'Brien, K. R., Waycott, M., Maxwell, P., Kendrick, G. A., Udy, J. W., Ferguson, A. J. ... & Dennison, W. C. (2018b). Seagrass ecosystem trajectory depends on the relative timescales of resistance, recovery and disturbance. *Mar. Pollut. Bull.*, 134, 166-176. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.006>
- Orth, R. J., Carruthers, T. J. B., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W. ... & Olyarnik, S. (2006a). A global crisis for seagrass ecosystems. *BioScience*, 56(12), 987-996. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[987:AGCFSE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[987:AGCFSE]2.0.CO;2)
- Orth, R. J., Harwell, M. C. & Inglis, G. J. (2006b). Ecology of seagrass seeds and seagrass dispersal processes. In A. Larkum, R. Orth & Duarte, C. (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation* (pp. 111-133). The Netherlands: Springer.
- R Development Core Team. (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Retrieved from <http://www.R-project.org/>
- Rasheed, M. A., McKenna, S. A., Carter, A. B. & Coles, R. G. (2014). Contrasting recovery of shallow and deep water seagrass communities following climate associated losses in tropical north Queensland, Australia. *Mar. Pollut. Bull.*, 83, 491-499. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.013>
- Samper-Villarreal, J., Van Tussenbroek, B. I. & Cortés, J. (2018). Seagrasses of Costa Rica: from the mighty Caribbean to the dynamic meadows of the Eastern Tropical Pacific. *Rev. Biol. Trop.*,

- 66(Suppl. 1), S53-S65. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i1.33260>
- Short, F. T., Carruthers, T. J. R., van Tussenbroek, B. & Zieman, J. (2010). *Syringodium filiforme*. The IUCN Red List of Threatened Species. e. T173378A7003203. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173378A7003203.en>
- Short, F. T., Montgomery, J., Zimmermann, C. & Short, C. (1993). Production and nutrient dynamics of a *Syringodium filiforme* Kütz. Seagrass bed in Indian River Lagoon, Florida. *Estuaries*, 16(2), 323-334. <https://doi.org/10.2307/1352505>
- Taylor, W. R. (1928). *The marine algae of Florida with special reference to the Dry Tortugas*. USA: Carnegie Institution of Washington.
- Tomlinson, P. B. & Posluszny, U. (1978). Aspects of floral morphology and development in the seagrass *Syringodium filiforme* (Cymodoceaceae). *Bot. Gaz.*, 139(3), 333-345. <https://doi.org/10.1086/337009>
- Valentine, J. F. & Duffy, J. E. (2006). The central role of grazing in seagrass ecology. In A. Larkum, R. Orth & C. Duarte (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation* (pp. 463-501). The Netherlands: Springer.
- Van Tussenbroek, B. I. (1994). Spatial and seasonal variability in biomass and leaf morphology of the manatee grass, *Syringodium filiforme* in a tropical coral reef lagoon, Mexico. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. UNAM*, 1-2, 1-13.
- Van Tussenbroek, B. I., Cortés, J., Collin, R., Fonseca, A. C., Gayle, P. M. H., Guzmán, H. M.... & Weil, E. (2014). Caribbean-wide, long-term study of seagrass beds reveals local variations, shifts in community structure and occasional collapse. *PLoS ONE*, 9(3), e90600. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090600>
- Van Tussenbroek, B. I., Márquez-Guzman, J. & Wong, R. (2009). Phenology of marine angiosperms (seagrasses): reproductive synchrony in the sea. In A. Gamboa-deBuen, A. Orozco-Segovia & F. Cruz-García (Eds.), *Functional Diversity of Plant Reproduction* (pp. 17-46). India: Research Singpost.
- Van Tussenbroek, B. I., Monroy-Velazquez, L. V. & Solis-Weiss, V. (2012). Meso-fauna foraging on seagrass pollen may serve in marine zoophilous pollination. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 469, 1-6. <https://doi.org/10.3354/meps10072>
- Van Tussenbroek, B. I. & Muhlia-Montero, M. (2013). Can floral consumption by fish shape traits of seagrass flowers? *Evol. Ecol.*, 27(2), 269-284. <https://doi.org/10.1007/s10682-012-9600-4>
- Van Tussenbroek, B. I., Soissons, L. M., Bouma, T. J., Asmus, R., Auby, I., Brun, F. G.... & Ganthy, F. (2016a). Pollen limitation may be a common Allee effect in marine hydrophilous plants: implications for decline and recovery in seagrasses. *Oecologia*, 182(2), 595-609. <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3665-7>
- Van Tussenbroek, B. I., Villamil, N., Márquez-Guzmán, J., Wong, R., Monroy-Velázquez, L. V. & Solis-Weiss, V. (2016b). Experimental evidence of pollination in marine flowers by invertebrate fauna. *Nat. Commun.*, 7, 12980. <https://doi.org/10.1038/ncomms12980>
- Van Tussenbroek, B. I., Wong, J. R. & Márquez-Guzman, J. (2008). Synchronized anthesis and predation on pollen in the marine angiosperm *Thalassia testudinum* (Hydrocharitaceae). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 354, 119-124. <https://doi.org/10.3354/meps07212>

- Villalobos-Flores, R. & Rojas-Morales, N. (2016). *Descripción del Clima Cantón de Limón*. Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Ministerio Nacional del Ambiente y Energía (MINAE) de Costa Rica.
- Walker, D. I., Olesen, B. & Phillips, R. C. (2001). Reproduction and phenology in seagrasses. In F. Short & R. Coles (Eds.), *Global Seagrass Research Methods* (Vol. 33, pp. 59-78). The Netherlands: Elsevier Science B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-044450891-1/50004-9>
- Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J. B., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S.... & Hughes, A. R. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 106(30), 12377-12381. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>
- Waycott, M., Procaccini, G., Les, D. H. & Reusch, T. B. (2006). Seagrass evolution, ecology and conservation: a genetic perspective. In A. Larkum, R. Orth & C. Duarte (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation* (pp. 25-50). The Netherlands: Springer.
- Zimmerman, M. S. & Livingston, R. J. (1976). Seasonality and physico-chemical ranges of benthic macrophytes from a north Florida estuary (Apalachee Bay). *Contrib. Mar. Sci.*, 20, 33-45.

Lista actualizada de la flora marina bentónica de cinco arrecifes coralinos del norte de Veracruz, México

Updated list of marine benthic flora from five coral reefs in northern Veracruz, Mexico

Vicencio de la Cruz-Francisco^{1*}, Rosa Estela Orduña-Medrano¹ y
Marlene González-González¹

RESUMEN

El macrofitobentos marino cumple un papel importante en los arrecifes coralinos, sin embargo, son de los grupos biológicos menos estudiados en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz, México (SALT). El objetivo del presente estudio fue actualizar la lista taxonómica de las especies de algas y fanerógamas presentes en los arrecifes Tuxpan, Enmedio, Tanhuijo, Lobos y Oro Verde. Entre el periodo 2014-2018, se realizaron un total de 38 muestreos, las exploraciones fueron en la laguna arrecifal y en las pendientes profundas de los arrecifes mediante buceos errantes. La búsqueda de algas y fanerógamas marinas se realizó en cinco tipos de sustratos: arena, guijarros, rocas coralinas, pastos marinos y zona de corales vivos. Así mismo, el listado taxonómico se complementó con registros de especies reportadas previamente para el SALT. La lista taxonómica actualizada está compuesta por 130 especies: 2 pertenecen a Cyanobacteria, 55 Rhodophyta, 23 Ochrophyta, 48 Chlorophyta y 2 Tracheophyta representadas por *Halophila decipiens* y *Thalassia testudinum*. Del total de especies, 28 taxa se citan por primera vez para la zona de estudio. Además, *Sphorochnus pedunculatus* constituye un nuevo registro para el suroeste del golfo de México. Los sustratos con mayor riqueza de algas fueron rocas coralinas y guijarros. Los arrecifes emergentes Lobos, Enmedio y Tuxpan presentaron mayor riqueza florística. La presente información representa un buen avance en el conocimiento de la flora marina y puede ser de utilidad para la toma de decisiones eficaces en materia de manejo, en especial para las fanerógamas que presentan un estatus de riesgo.

Palabras clave: algas, arrecifes, fanerógamas, fitobentos, sustratos

ABSTRACT

Marine macrophytobenthos plays an important role in coral reefs; however, it is one of the least studied biological groups in the Lobos-Tuxpan Reef System (SALT) in Veracruz, Mexico. The objective of the present study was to update the taxonomic list of the algae and phanerogam species present in the Tuxpan, Enmedio, Tanhuijo, Lobos, and Oro Verde reefs. During the 2014-2018 period, 38 surveys were conducted in the reef lagoon and the deep slopes of the

1 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Campus Tuxpan, Universidad Veracruzana. Carr. Tuxpan-Tampico km 7.5, Col. Universitaria CP. 92860, Tuxpan, Veracruz, México. vicacruz@uv.mx*. ORCID: orcid.org/0000-0001-8339-6730; ORCID: orcid.org/0000-0003-2458-6221; ORCID: orcid.org/0000-0002-2095-8457

reefs by errant dives. Algae and marine phanerogams were surveyed on five types of substrates: sand, pebbles, coral rocks, seagrasses, and live coral area. In addition, the taxonomic list was complemented with records of species previously reported for SALT. The updated taxonomic list includes 130 species: 2 being Cyanobacteria, 55 Rhodophyta, 23 Ochrophyta, 48 Chlorophyta, and 2 Tracheophyta, represented by *Halophila decipiens* and *Thalassia testudinum*. Of the total species, 28 taxa are cited for the first time for the study area. Additionally, *Sphorochnus pedunculatus* constitutes a new record for the southwest of the Gulf of Mexico. The substrates with the highest algae richness were coral rocks and pebbles. The Lobos, Enmedio, and Tuxpan emerging reefs presented greater floristic wealth. This information represents a good advance in the knowledge of marine flora and can be useful for effective management decision-making, especially for phanerogams, which are in a risk status.

Keywords: algae, reefs, phanerogams, phytobenthos, substrates

INTRODUCCIÓN

El macrofitobentos marino incluye a las algas y pastos marinos, ambos grupos son importantes en los ecosistemas arrecifales dado que forman parte del componente bentónico de los arrecifes de coral. Las algas arrecifales manifiestan una gran diversidad de especies, son abundantes y contribuyen en la productividad primaria, además son competidores por el espacio con los corales, y sus frondas proveen refugio y alimento para la fauna marina (Fong & Paul, 2011; Ramírez-Rodríguez & Blanco-Pérez, 2011; Aguilera-Pérez & De la Cruz-Francisco, 2017). Por igual, los pastos marinos o fanerógamas desempeñan un papel importante en los arrecifes dado son productores primarios, participan en el reciclamiento de nutrientes, atenúan el oleaje, retienen el sedimento, sus praderas sirven de crianza, alimento y reproducción para la fauna marina, y constituyen un excelente sustrato para

la fijación de epifitas (Romeu, 1996; Ramírez-García *et al.* 2007; Cervantes-Maldonado & Quintero, 2016).

En los arrecifes coralinos de Veracruz, la comunidad de algas está constituida principalmente por algas rojas, los géneros más comunes son *Acanthophora*, *Amphiroa*, *Ceramium*, *Galaxaura*, *Gracilaria*, *Hypnea*, *Jania* y *Laurencia*, de igual manera, la abundancia de algas verdes es importante y representada por los géneros *Caulerpa*, *Cladophora* y *Ulva*, también, las algas pardas son predominantes en los arrecifes esencialmente por los géneros *Dictyota* y *Padina* (Lehman, 2010; Ramírez-Rodríguez & Blanco-Pérez, 2011). Respecto a los pastos marinos, dos especies se han reportado en los arrecifes veracruzanos: *Syringodium filiforme* y *Thalassia testudinum*, esta última fanerógama es la más abundante en cobertura y biomasa, sobre todo se establece en la laguna arrecifal (Godínez-Ortega *et al.* 2015).

Si bien, Veracruz es la localidad más explorada y con mayor diversidad ficológica para las costas mexicanas del golfo de México (Ortega *et al.* 2001; Pedroche & Senties, 2003), aún se considera que es limitado el conocimiento de la riqueza florística ligada a los arrecifes veracruzanos a pesar de los esfuerzos de investigación realizados principalmente en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) (Galicia-García & Morales-García, 2007; Robinson *et al.* 2012; Galicia-García *et al.* 2013; Godínez-Ortega *et al.* 2015; 2019), además, se enfatiza que el ambiente submareal ha sido poco explorado (Ramírez-Rodríguez & Blanco-Pérez, 2011; Godínez-Ortega *et al.* 2019). Respecto a los pastos marinos, también han sido objeto de estudio, a la fecha se tiene conocimiento de su distribución, abundancia, biomasa, productividad y crecimiento (Lot-Helgueras, 1971; Ibarra-Morales & Abarca-Arenas, 2007; Ramírez-García *et al.* 2007; Arellano-Méndez *et al.* 2016), así como su estructura comunitaria (Godínez-Ortega *et al.* 2015).

De forma inversa, el Sistema Arrecifal Los Tuxtlas (SAT) carece de inventarios ficológicos, este sistema se distribuye al sur de Veracruz y apenas se están haciendo esfuerzos por determinar su biodiversidad. Respecto al Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), ubicado al norte de Veracruz, son pocas las investigaciones que han explorado la flora marina donde la laguna arrecifal, ha sido

la zona arrecifal más estudiada. Entre la década de los sesenta y principios de los setenta, se realizaron los primeros estudios de la flora marina en el SALT, inicialmente, Barrientos (1965) aporta un listado preliminar de las algas del arrecife Blanquilla. Huerta-Múzquiz & Barrientos (1965) contribuyen con los primeros registros de algas para el arrecife Lobos, y más tarde, Chávez *et al.* (1970) incrementan el conocimiento florístico con datos de la composición y distribución de las algas y del pasto marino *Thalassia testudinum*, información que a la fecha no ha sido actualizada. Posteriormente, a principios de la década del 2000, varios estudios realizados en el arrecife Tuxpan determinaron la composición y distribución de las algas en diferentes hábitats arrecifales (Ortega *et al.* 2001; González-Gándara *et al.* 2007; Aguilera-Pérez & De la Cruz-Francisco, 2017). Mientras, para los arrecifes Enmedio y Oro Verde se tiene poco conocimiento de la flora marina, dado que se han registrado menos de 25 especies de algas para estos arrecifes (González-González *et al.* 2016; Luna-Ortega & De la Cruz-Francisco, 2017).

Si bien, todos estudios han enriquecido el conocimiento de la flora marina para el SALT, la realización de más estudios y exploraciones son necesarias para incrementar el conocimiento sobre la riqueza del macrofitobentos en lugares arrecifales menos conocidos, como las pendientes profundas

(Pedroche & Senties, 2003; Galicia-García & Morales-García, 2007). Por ello, el propósito del presente trabajo fue proporcionar un listado actualizado de la flora marina bentónica, basado en recolectas y observaciones hechas desde el 2014 al 2018 en cinco de los diez arrecifes del SALT, así como la integración de registros previos de la literatura existente. Dado que el SALT es área natural protegida, la información presentada en este trabajo puede servir de apoyo para los planes de manejo y conservación a fin de proteger aquellas especies que presentan un estatus de riesgo con base en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2019).

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio. Al norte del estado de Veracruz, en el golfo de México (Fig. 1) se localiza el Área Natural Protegida Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), decretado en el año 2009 como Área de Protección de Flora y Fauna de México (DOF, 2009). Está integrado por dos polígonos de protección; el polígono Lobos lo componen tres arrecifes coralinos emergentes: Lobos, Medio y Blanquilla, mientras el polígono Tuxpan lo conforman tres arrecifes emergentes: Tanhuijo, Enmedio, Tuxpan y el arrecife sumergido Pantepec (Ortiz-Lozano *et al.* 2013). En las inmediaciones de estos polígonos se han cartografiado otros arrecifes

sumergidos nombrados como arrecife Oro Verde, arrecife Pantepec Sur y arrecife Corazones (Ortiz-Lozano *et al.* 2019) (Fig. 1). Este complejo arrecifal forma parte del Corredor Arrecifal del suroeste del golfo de México (Ortiz-Lozano *et al.* 2019) (Fig. 1).

Para elaborar la lista taxonómica del macrofitobentos, se efectuaron un total de 38 salidas a los arrecifes del SALT durante el 2014-2018. Se dedicó un tiempo de trabajo en cada salida de 4 h/día. Para el arrecife Enmedio, se realizaron al menos 12 muestreos (equivalente a 46 h) que procedieron de estudios que determinaron la distribución y cobertura bentónica de dicho arrecife (De la Cruz-Francisco *et al.* 2016; González-González *et al.* 2016) durante abril-noviembre 2015 y abril-mayo 2016, donde gran parte del material biológico recolectado quedó pendiente por identificar, posteriormente se efectuaron dos salidas más en abril 2017 (8 h) y abril de 2018 (8 h). Mientras, para el arrecife Tuxpan se efectuaron seis muestreos (24 h) en los meses de mayo y julio 2014; abril 2015; mayo 2016 y 2017, así también, seis exploraciones (24 h) se efectuaron para el arrecife Tanhuijo (noviembre 2014; julio-agosto 2015) y arrecife Oro Verde (junio-agosto 2015) respectivamente. Respecto al arrecife Lobos, se realizó un muestreo en mayo 2014 (4 h), después en noviembre 2016 (4 h), y por último, una estancia de cinco días en noviembre de 2017 (20 h).

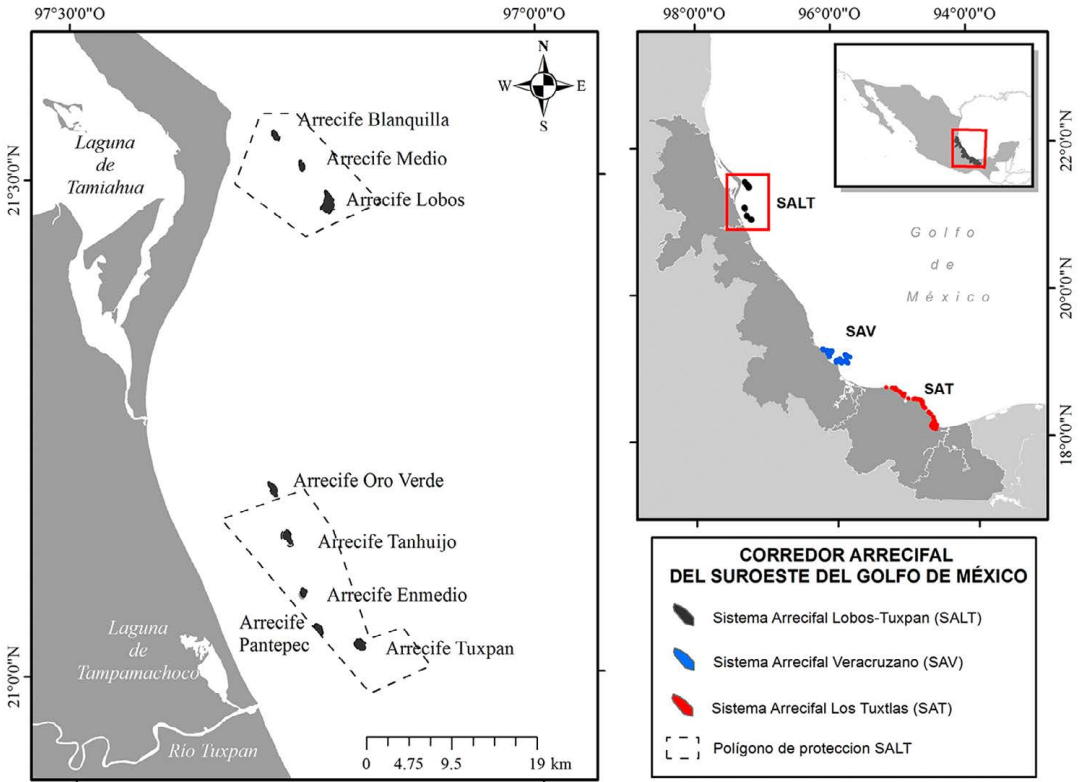


Fig. 1. Localización geográfica de los arrecifes coralinos que conforman el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT)

Fig. 1. Geographical location of the coral reefs that make up the Lobos-Tuxpan Reef System (SALT, its acronym in Spanish)

Los muestreos consistieron en la búsqueda de algas y fanerógamas marinas en cinco tipos de sustratos, en especial a) parches de arena, b) guijarros, c) rocas, d) y en zonas de pastos marinos (*Thalassia testudinum* L.) y de e) corales vivos. Para esto, se aplicó la técnica del buzo errante, el cual consistió en nadar libremente durante 20-30 minutos en cada uno de los sustratos establecidos para la identificación y recolecta de especímenes

dudosos. En cada ambiente se tomaron datos de los ejemplares observados (profundidad, sustrato, localidad, coordenadas, fecha, colector, así como datos de color, forma y textura) y posteriormente se recolectaron (solo los necesarios para la identificación) desprendiéndolas desde la base del sustrato con una navaja para el caso de las macroalgas corticadas, foliosas y sifonales, mientras para los tapetes algales se utilizó una espátula y se

recolectaron alrededor de dos muestras de 20 cm² por muestreo (Flores-Leiva *et al.* 2010). Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno y fueron etiquetadas, luego se almacenaron en neveras de unicel para protegerlas de la radiación solar (Flores-Leiva *et al.* 2010). Cabe mencionar, que para la laguna arrecifal, los muestreos se realizaron con equipo de buceo libre, mientras, para las zonas profundas se efectuaron inmersiones de 2-20 m de profundidad con equipo de buceo autónomo. En el laboratorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Veracruzana, las muestras biológicas se preservaron en líquido, mediante una solución de formalina al 4% (Flores-Leiva *et al.* 2010) y después se depositaron en la colección biológica de la propia facultad.

Para la identificación de las algas, primero se realizaron cortes transversales de los talos con navajas de afeitador (marca Gillette) y un microscopio estereoscópico (marca Nikon SMZ745), posteriormente se prepararon laminillas temporales (usando portaobjetos y cubreobjetos) para observar las estructuras reproductoras y vegetativas en un microscopio óptico (marca Nikon modelo Eclipse E-100). También, se tuvieron en cuenta especies epifitas en macroalgas frondosas (e. g. *Galaxaura*, *Laurencia*, *Padina*, *Dictyota*, *Rhizocephalus*, *Halimeda*). Para los ejemplares con estructura calcárea de las familias Corallinacea,

Dichotomosiphonaceae, Udoteaceae, y Dasycladaceae, se utilizó ácido clorhídrico al 15% para la descalcificación de los tejidos (Aguilar-Rosas *et al.* 2010). La determinación del material algal se llevó a cabo mediante guías de identificación (Littler & Littler, 2000; León-Álvarez *et al.* 2007) y trabajos especializados (Senties & Fujii, 2002; Solé & Foldats, 2003; Bandeira-Pedrosa *et al.* 2004; Alves *et al.* 2010; Pacheco-Cervera *et al.* 2010; Robinson *et al.* 2012; Galicia-García *et al.* 2013; Mendoza-González *et al.* 2014; Moura *et al.* 2014; Vieira *et al.* 2016; Godínez-Ortega *et al.* 2019). Para el reconocimiento de las fanerógamas marinas se utilizaron los trabajos de van Tussenbroek *et al.* (2010) y Martínez-Daranas *et al.* (2013).

Para complementar el listado taxonómico, se adicionaron los registros de algas reportados para el SALT con base en los trabajos de Huerta-Múzquiz & Barrientos (1965), Chávez *et al.* (1970), Ortega *et al.* (2001), González-Gándara *et al.* (2007), González-González *et al.* (2016), Aguilera-Pérez & De la Cruz-Francisco (2017) y Luna-Ortega & De la Cruz-Francisco (2017). Con la información obtenida, se elaboró un listado sistemático que sigue al criterio de Zúñiga-Ríos *et al.* (2012) para las categorías taxonómicas superiores: División y Orden, mientras, las especies dentro de cada orden se establecieron alfabéticamente. Además, la nomenclatura de los nombres

científicos se actualizó al consultar la base de datos *Algaebase* (Guiry & Guiry, 2019).

RESULTADOS

En el presente estudio se identificaron en total 92 especies de algas y dos especies de fanerógamas en el sistema arrecifal SALT. Se complementaron estos resultados con las 102 especies que han sido reportadas, con anterioridad, en la literatura, el inventario taxonómico de la flora marina bentónica para esta zona queda integrada por 130 especies, repartidas en cinco divisiones y dos reinos (Cuadro 1). Rhodophyta (algas rojas) y Chlorophyta (algas verdes) presentaron mayor número de taxones con 55 y 48 especies respectivamente. Las familias con mayor riqueza fueron: Dictyotaceae con 16 especies, seguido de Rhodome-laceae con 10 especies y Caulerpa-ceae con nueve especies (Cuadro 2). Del total de la riqueza, 28 especies encontradas en este estudio constituyen los primeros registros para el área natural protegida, en su mayoría corresponden a Chlorophyta (Cuadro 1 y 2). Adicionalmente, se amplía la distribución de *Sporochnus pedunculatus* para el suroeste del golfo de México, su descripción morfológica se muestra al final de esta sección.

Cuadro 1. Riqueza florística registrada en los arrecifes del SALT. Entre paréntesis se cita el número de especies que son reportadas en la literatura (r), las que se registraron en el presente estudio (obs) y las que constituyen nuevos registros para la zona (nr)

Table 1. Floristic richness recorded on the SALT reefs. In parentheses are the number of species reported in the literature (r), species recorded in the present study (obs), and the new records for the area (nr)

División	Tuxpan	Enmedio	Tanhujo	Oro Verde	Lobos	Blanquilla	SALT
Cyanobacteria	2 (2 ^{obs})	2 (2 ^{obs})	22 ^{obs}	1 (1 ^{obs})	2 (1 ^r /1 ^{obs})	0	2 (1 ^r /2 ^{obs} /1 ^{nr})
Rhodophyta	32 (21 ^r /14 ^{obs})	30 (2 ^r /29 ^{obs})	22 ^{obs}	25 (10 ^r /16 ^{obs})	36 (23 ^r /20 ^{obs})	19 ^r	55 (49 ^r /37 ^{obs} /6 ^{nr})
Ochrophyta	13 (11 ^r /7 ^{obs})	13 (1 ^r /13 ^{obs})	6 ^{obs}	8 (8 ^r)	18 (11 ^r /12 ^{obs})	4 ^r	23 (19 ^r /14 ^{obs} /4 ^{nr})
Chlorophyta	34 (16 ^r /20 ^{obs})	34 (8 ^r /29 ^{obs})	22 ^{obs}	9 (5 ^r /4 ^{obs})	33 (19 ^r /29 ^{obs})	4 ^r	48 (32 ^r /39 ^{obs} /16 ^{nr})
Tracheophyta	2 (1 ^r /2 ^{obs})	1 (1 ^{obs})	1 ^{obs}	0	2 (1 ^r /2 ^{obs})	0	2 (1 ^r /2 ^{obs} /1 ^{nr})
Total	83 (49 ^r /45 ^{obs})	80 (11 ^r /74 ^{obs})	53	43 (23 ^r /21 ^{obs})	91 (55 ^r /64 ^{obs})	27	130 (102 ^r /94 ^{obs} /28 ^{nr})

Cuadro 2. Listado actualizado de la flora bentónica presente en el sistema arrecifal Lobos-Tuxpan, México. Abreviaciones: arrecifes Tuxpan (Tx), Enmedio (En), Tanhujo (Th), Oro Verde (OrV), Lobos (Lb), Blanquilla (B), datos no disponibles (ND). Referencias bibliográficas. 1. Huerta-Múzquiz y Barrientos (1965). 2. Chávez *et al.* (1970). 3. Ortega *et al.* (2001). 4. González-Gándara *et al.* (2007). 5. González-González *et al.* (2016). 6. Aguilera-Pérez y De la Cruz-Francisco (2017). 7. Luna y De la Cruz-Francisco (2017). 8. Registros del presente estudio. Tipos de sustrato: rocas (A), guijarros (B), coral muerto (C), arena (D), corales vivos (E), pradera de pastos marinos (F)

Table 2. Updated list of benthic flora in the Lobos-Tuxpan reef system, Mexico. Abbreviations for the following reefs: Tuxpan (Tx), Enmedio (En), Tanhujo (Th), Oro Verde (OrV), Lobos (Lb), Blanquilla (B); data not available (ND). References: 1. Huerta-Múzquiz and Barrientos (1965). 2. Chávez *et al.* (1970). 3. Ortega *et al.* (2001). 4. González-Gándara *et al.* (2007). 5. González-González *et al.* (2016). 6. Aguilera-Pérez and De la Cruz-Francisco (2017). 7. Luna and De la Cruz-Francisco (2017). 8. Records of the present study. Types of substrate: rocks (A), pebbles (B), dead coral (C), sand (D), live corals (E), seagrass meadows (F)

Especie	Presencia en el SALT	Prof. (m)	Tipo sustrato
División: Cyanobacteria			
Clase: Cyanophyceae			
Orden: Oscillatoriales			
1. <i>Lyngbya majuscula</i> Harvey ex Gomont	Tx ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ³	1-20	A, B
2. <i>Symploca hydrinoides</i> Kützing ex Gomont	Tx ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ⁸	1	A, B
División Rhodophyta			
Clase: Florideophyceae			
Orden: Nemaliales			
3. <i>Dichotomaria obtusata</i> (J. Ellis & Solander) Lamarck	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ⁸	1-20	A, B
4. <i>Dichotomaria marginata</i> (J. Ellis & Solander) Lamarck	En ⁸ , Th ⁸ , OrV ^{7,8} , Lb ⁸	1-20	A, B

5. <i>Galaxaura rugosa</i> (J. Ellis & Solander) J.V. Lamouroux	Tux ^{4,6,8} , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁷ , Lb ^{2,3,8} , B ¹	1-20	A, B, C, F
6. <i>Tricleocarpa cylindrica</i> (J. Ellis & Solander) Huisman & Borowitzka	Tux ⁴ , OrV ⁸	10-20	A, B, C
7. <i>Tricleocarpa fragilis</i> (Linnaeus) Huisman & R.A. Townsend	Tux ⁴ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ^{1,2,3} , B ¹	1-20	A, B, C, F
8. <i>Gloiocallis dendroidea</i> (P. Crouan & H. Crouan) Showe M. Lin, Huisman & D.L. Ballantine, 2014	B ¹	1	ND
9. <i>Liagora ceranoides</i> J.V. Lamouroux	Tux ⁴ , En ⁸ , Th ⁸	1	A, B, C
10. <i>Nemalion helminthoides</i> (Velle) Batters	Lb ^{1,2,3}	1	C, F
Orden: Corallinales			
11. <i>Jania capillacea</i> Harvey	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ^{1,2,3} , B ¹	1-20	E, <i>Halimeda opuntia</i> , <i>Galaxaura rugosa</i> , <i>Laurencia obtusa</i> , <i>Styopodium zonale</i>
12. <i>Jania adhaerens</i> J.V. Lamouroux	Tux ⁴ , En ⁸ , Th ⁸	1-20	A, <i>Halimeda opuntia</i> , <i>Laurencia obtusa</i>
13. <i>Jania rubens</i> (Linnaeus) J.V. Lamouroux	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ⁸	1-20	A, E, <i>Halimeda opuntia</i> , <i>Laurencia obtusa</i>
14. <i>Amphiroa beauvoisii</i> J.V. Lamouroux	OrV ⁷	10-20	A
15. <i>Amphiroa brasiliiana</i> Decaisne	OrV ⁷	10-20	A
16. <i>Amphiroa fragilissima</i> (Linnaeus) J.V. Lamouroux	Tux ^{4,8} , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ^{1,2,3,8} , B ¹	1	A, B, F, <i>Padina gymnospora</i> , <i>Halimeda opuntia</i> ,
17. <i>Amphiroa hancockii</i> W.R. Taylor, 1942	B ¹	1	ND
18. <i>Amphiroa rigida</i> J.V. Lamouroux	Tux ⁷ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ^{1,2,3} , B ¹	1-20	A, B, F, <i>Padina gymnospora</i> , <i>Halimeda opuntia</i>
19. <i>Goniolithon decutescens</i> (Heydrich) Foslie in Howe	Lb ^{1,2}	1	A, B, F, <i>Padina gymnospora</i> , <i>Halimeda opuntia</i> ,

20. <i>Phenophyllum fragile</i> Kützing	Lb ^{1,2,3} , B ¹	1	A, B, <i>Hypnea spinella</i> , <i>Laurencia obtusa</i>
Orden: Gelidiales			
21. <i>Gelidium americanum</i> (W. R. Taylor) Santelices	Lb ³	1	A, B
22. <i>Parviphycus trinitatensis</i> (W. R. Taylor) M. J. Wynne W. R. Taylor	Tux ⁶ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁷ , Lb ⁸	5-20	A, B
23. <i>Pterocladia sanctarium</i> (Feldmann & Hamel) Santelices	OrV ⁷	20	A, B
24. <i>Pterocladia capillacea</i> (S. G. Gmelin) Santelices & Hommersand	Tux ⁶	10-20	A, B
Orden: Bonnemaisoniales			
25. <i>Asparagopsis taxiformis</i> (Delile) Trevisan de Saint-Léon	Tux ⁸ , En ⁵ , Th ⁸ , OrV ⁷ , Lb ⁸	10-20	A, D
Orden: Nemastomatales			
26. <i>Predaea feldmannii</i> Børgesen	Tux ⁸ , En ^{6,8} , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ⁸	5-20	
Orden: Rhodymeniales			
27. <i>Champia parvula</i> (C. Agardh) Harvey	Lb ^{1,2,3}	1	F, <i>Hypnea spinella</i> , <i>Dicyyota bartayresiana</i> , <i>Halimeda opuntia</i>
28. <i>Coelothrix irregularis</i> (Harvey) Børgesen	Tux ⁵ , En ⁸	1	A, <i>Halimeda opuntia</i>
29. <i>Ceratodicyyon intricatum</i> (C. Agardh) R.E. Norris	Tux ⁸ , En ⁸ , B ¹	1	A, B
Orden: Ceramiales			
30. <i>Centroceras clavulatum</i> (C. Agardh) Montagne	Tux ^{6,8} , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ^{3,8}	10-20	A, B, <i>Dicyyota bartayresiana</i>
31. <i>Ceramium brevisonatum</i> var. <i>caraiubicum</i> H.E. Petersen & Børgesen in Børgesen	Tux ⁸ , En ⁸ , Lb ⁸	1-20	A, B, <i>Laurencia obtusa</i>
32. <i>Ceramium cimbricum</i> H.E. Petersen in Rosenvinge	En ⁸ , OrV ⁷ , Lb ⁸	1-20	A, B, F, <i>Dicyyota menstrualis</i> , <i>Laurencia obtusa</i>

33. <i>Ceramium cruciatum</i> F.S. Collins & Hervey	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁷	10-20	<i>Halimeda opuntia</i> , <i>Laurencia intricata</i>
34. <i>Ceramium flaccidum</i> (Harvey ex Kützinger) Ardissonne	Lb ^{2,3}	1	<i>F. Dictyota bartayresiana</i> , <i>Laurencia intricata</i>
35. <i>Ceramium subtile</i> J. Agardh	Lb ¹	1	ND
36. <i>Ceramium virgatum</i> Roth	Tux ⁶ , OrV ⁷ , B1	10-20	<i>Laurencia obtusa</i> , <i>Rhipocephalus phoenix f. brevifolius</i>
37. <i>Crouania attenuata</i> (C. Agardh) J. Agardh	En ⁸ , OrV ⁸	10-20	<i>A. Dictyota menstrualis</i> , <i>Laurencia obtusa</i>
38. <i>Spyridia filamentosa</i> (Wulfen) Harvey	Tux ⁸ , Lb ³	1-20	A, B, F
39. <i>Spyridia hypnoides</i> (Bory) Papenfuss	Tux ⁸ , En ⁸ , Lb ¹	1-20	A, B, D
40. <i>Anotrichium tenue</i> (C. Agardh) Nägeli	OrV ⁸ , B ¹	10-20	<i>Laurencia intricata</i> , <i>Hypnea spinella</i>
41. <i>Griffithsia schousboei</i> Montagne	OrV ⁸	10-20	<i>Styopodium zonale</i>
42. <i>Wrangelia argus</i> (Montagne) Montagne	Tux ⁴ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ⁸ , B ¹	1-20	A, B, D, <i>Amphiroa fragilissima</i> , <i>Laurencia obtusa</i>
43. <i>Dictyurus occidentalis</i> J. Agardh	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ⁸	10-20	A
44. <i>Acanthophora spicifera</i> (M. Vahl) Børgesen	Tux ⁴ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ^{1,2,3,8} , B ¹	1	A, B, D, C, F
45. <i>Chondria littoralis</i> Harvey	Tux ⁵	1	A, B, D
46. <i>Digenea simplex</i> (Wulfen) C. Agardh	Lb ^{1,2,3,8} , B ¹	10-20	A, B, D
47. <i>Laurencia intricata</i> J.V. Lamouroux	Tux ⁵ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ⁸	1	A, B, D
48. <i>Laurencia obtusa</i> (Hudson) J.V. Lamouroux	Tux ⁷ , En ⁸ , OrV ⁸ , Lb ^{1,2,3} , B ¹	1-20	A, B, D
49. <i>Palisada perforata</i> (Bory de Saint-Vincent) K. W. Nam	Lb ^{1,2,3,8}	1	A, B, D

50. <i>Yuzurua poiteaui</i> (J.V. Lamouroux) Martin-Lescanne	Tux ⁴ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ^{1,2,3,8} , B ¹	1-20	A, B, D, <i>Lobophora</i> sp., <i>Halimeda opuntia</i>
51. <i>Neosiphonia sphaerocarpa</i> (Borgesén) Kim & Lee	Lb ^{1,2,3}	1	A, B, D
52. <i>Polysiphonia subtilissima</i> Montagne	OrV ⁸ , B ¹	10-20	A, B, D
53. <i>Wrightiella blodgettii</i> (Harvey) F. Schmitz	Tux ⁵	1	A
Orden: Gigartinales			
54. <i>Hypnea musciformis</i> (Wulfen) J.V. Lamouroux	Tux ⁴ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ⁸	1	A, B, D, C, F
55. <i>Hypnea spinella</i> (C. Agardh) Kützing	Tux ⁴ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ⁸ , B ¹	1	A, B, D, C, F
56. <i>Hypnea valentiae</i> (Turner) Montagne	En ⁸ , Lb ^{1,2,3} , B ¹	1	A, B, D, C, F
57. <i>Wurdemannia miniata</i> (Sprengel) Feldmann & Hamel	Lb ^{1,2,3}	1	A, F
División: Ochrophyta			
Clase: Phaeophyceae			
Orden: Sphacelariales			
58. <i>Sphacelaria tribuloides</i> Meneghini	Tux ⁶ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁷ , Lb ^{1,2,3,8} , B ¹	1-20	A, B, <i>Halimeda opuntia</i>
Orden: Ectocarpales			
59. <i>Feldmannia mitchelliae</i> (Harvey) H.-S. Kim	En ⁸ , OrV ⁷ , Lb ⁸	1-20	A, B, F
60. <i>Chnoospora minima</i> (Hering) Papenfuss	Lb ^{1,3}	1	A
61. <i>Colpomenia sinuosa</i> (Mertens ex Roth) Derbes & Solier in Castagne	Tux ^{5,8} , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ³ , B ¹	1	A, B, D, <i>Halimeda opuntia</i>
62. <i>Hydroclathrus clathratus</i> (C. Agardh) Howe	Tux ⁵ , Lb ^{1,2,3} , B ¹	1	A, B, D
Orden: Dictyotales			
63. <i>Canistrocarpus cervicornis</i> (Kützing) De Paula & De Clerck	Tux ⁶ , En ⁸ , OrV ⁷ , Lb ¹ , B ^{2,3,8}	1-20	A, B, C
64. <i>Dictyopteris jamaicensis</i> W. Taylor	Tux ⁸ , En ⁸ , Lb ⁸	1	A, B

65. <i>Dictyota bartayresiana</i> J.V. Lamouroux	Tux ^{5,8} , En ⁸ , Lb ⁸	1-20	A, B, F, <i>Halimeda opuntia</i> , <i>Galaxaura rugosa</i>
66. <i>Dictyota caribaea</i> Hörmig & Schmetter	OrV ⁷	1-20	A, B, C
67. <i>Dictyota crenulata</i> J. Agardh	OrV ⁷	10-20	A, B, C
68. <i>Dictyota mensrualis</i> (Hoyt) Schmetter, Hörmig & Weber-Peukert	Tux ^{4,6,8} , En ⁸ , Lb ⁸	1	A, B, C
69. <i>Dictyota pulchella</i> Hörmig & Schmetter	Tux ^{4,8} , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁷ , Lb ^{2,8}	10-20	A, B, C, E
70. <i>Dictyota spiralis</i> Montagne	OrV ⁷	10-20	A, B, C
71. <i>Lobophora variegata</i> (J.V. Lamouroux) Womersley ex E.C. Oliveira	Tux ⁶	1	A, B, C
72. <i>Lobophora</i> sp.	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ⁸	10-20	A, B, C
73. <i>Padina boergesenii</i> Allender & Kraft	Tux ³ , Th ³ , Lb ³	1	A, B, C
74. <i>Padina gymnospora</i> (Kützing) Sonder	Lb ^{1,2} , B ¹	1	A, B, C
75. <i>Padina pavonica</i> (Linnaeus) Thivy in W. R. Taylor	Tux ^{3,6,8} , En ^{5,8} , Th ⁸ , Lb ^{1,2,3}	1	A, B, C
76. <i>Padina perindusiata</i> Thivy in W.R. Taylor	Lb ³	1	A, B, C
77. <i>Padina sanctae-crucis</i> Børgesen, 1914	Tux ^{4,8} , En ⁸ , Lb ^{3,8}	1	A, B, C
78. <i>Spatoglossum schroederi</i> (C. Agardh) Kützing	En ⁸ , Lb ⁸	1	A, B, C
79. <i>Stypopodium zonale</i> J.V. Lamouroux) Papenfuss	OrV ⁷ , Lb ⁸	10-20	A, B, C
Orden: Sporochneales			
80. <i>Sporochnus pedunculatus</i> (Hudson) C. Agardh	En ⁸	1	A, D
Division: Chlorophyta			
Clase: Ulvophyceae			
Orden: Ulvales			
81. <i>Ulva compressa</i> Linnaeus	Lb ³	1	A, B

82. <i>Ulva intestinalis</i> Linnaeus	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ⁸	1	A, B
83. <i>Ulva flexuosa</i> Wulfen	Tux ⁸ , En ⁸ , Lb ^{1,2,3,8}	1	A, B
84. <i>Ulva lactuca</i> Linnaeus	Tux ⁸ , Lb ⁸	1	A, B, D
Orden: Cladophorales			
85. <i>Anadyomene saldanhae</i> A.B. Joly & E.C. Oliveira	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁷ , Lb ⁸	5-20	A, B
86. <i>Anadyomene stellata</i> (Wulfen) C. Agardh	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ⁸	5-20	A, B,
87. <i>Microdictyon marinum</i> (Bory de Saint-Vincent) P.C. Silva	Tux ⁴	1	A, D, F
88. <i>Cladophoropsis macromeres</i> Taylor	Tux ⁴	1	A, D, F
89. <i>Cladophoropsis membranacea</i> (Hofman Bang ex C. Agardh) Børgesen	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ^{1,2,3,8}	1	A, D, F
90. <i>Chaetomorpha antennina</i> (Bory de Saint-Vincent) Kützing (Bory) Kützing	Tux ⁸ , Lb ⁸	1	A, D
91. <i>Chaetomorpha gracilis</i> Kützing	Tux ⁸ , Lb ^{1,2,3,8}	1	A, D
92. <i>Chaetomorpha linum</i> (O.F. Müller) Kützing	Tux ⁸ , En ⁸ , Lb ⁸	1	A, D, F
93. <i>Dictyosphaeria cavernosa</i> (Forsskål) Børgesen (Forsskal) Børgesen	Tux ^{4,6} , En ⁵ , Th ⁸ , Lb ^{1,2,3,8}	1	A, B, C, E, F
94. <i>Dictyosphaeria ocellata</i> (M.A. Howe) Olsen-Stojkovich	Tux ^{4,6} , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ⁸	1	A, B, C, E, F
95. <i>Dictyosphaeria versluisii</i> Weber-van Bosse	Tux ⁴ , En ⁸	1	A, B, C, E, F
96. <i>Valonia macrophysa</i> Kützing 1843	Tux ⁶ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁷ , Lb ⁸	1-20	A, B, C, E
97. <i>Valonia ventricosa</i> J. Agardh, 1887	Tux ⁶ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ^{1,2,3,8}	1-20	A, B, C, E
Orden: Bryopsidales			
98. <i>Bryopsis pennata</i> J.V. Lamouroux	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ⁸	1	A, B
99. <i>Bryopsis plumosa</i> (Hudson) C. Agardh	Tux ⁸ , En ^{6,8} , Lb ⁸	1	A, B
100. <i>Derbesia</i> sp.	Tux ⁴	1	

101. <i>Caulerpa ambigua</i> (Okamura) Prud'homme van Reine y Lokhorst	Tux ⁴	1	A, D
102. <i>Caulerpa ashmeadii</i> Harvey 1858	En ⁶	1	A, D
103. <i>Caulerpa chemnitzia</i> (Esper) J.V. Lamououx	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁷ , Lb ⁸	5-20	A, D, E
104. <i>Caulerpa cupressoides</i> (Vahl) C. Agardh	Tux ⁴ , Lb ^{1,2,3,8}	1	A, D
105. <i>Caulerpa microphysa</i> (Weber-van Bosse) Feldmann	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ^{1,2,3,8}	10-20	A, D, E
106. <i>Caulerpa prolifera</i> (Forsskål) J.V. Lamouroux	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ⁸	10-20	A, D
107. <i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>macrophysa</i> (Sonder ex Kützing) W.R. Taylor	Tux ^{4,8} , En ^{5,8} , Th ⁸ , OrV ⁷ , Lb ^{1,2,3,8} , B ¹	1-20	A, D, E
108. <i>Caulerpa sertularioides</i> (S.G. Gmelin) M.A. Howe	Tux ^{4,8} , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ^{2,3,8} , B ¹	1	A, D
109. <i>Caulerpa verticillata</i> f. <i>charoides</i> Weber-Van Bosse	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ^{1,8}	10-20	A, E
110. <i>Codium intertextum</i> Collins & Hervey	Tux ⁸ , En ⁵ , OrV ⁷	10-20	A, B
111. <i>Codium isthmocladum</i> Vickers	En ⁸	10-20	A, B
112. <i>Halimeda discoidea</i> Decaisne	Th ⁸ , OrV ⁸ , Lb ⁸	20	A, B
113. <i>Halimeda goreauii</i> W.R. Taylor	Lb ¹	1	A, B
114. <i>Halimeda opuntia</i> (Linnaeus) J.V. Lamouroux	Tux ⁸ , En ^{6,8} , Th ⁸ , Lb ^{1,2,3,8} , B ¹	1	A, B
115. <i>Avrainvillea hayi</i> D.S. Littler & M.M. Littler	En ⁸	20	A, D
116. <i>Avrainvillea longicaulis</i> (Kützing) G.Murray & Boodle	Lb ³	20	A, D
117. <i>Avrainvillea nigricans</i> f. <i>floridana</i> D.S. Littler & M.M. Littler	En ⁸	20	A, D
118. <i>Penicillus capitatus</i> Lamarck	En ⁸ , Th ⁸	1	A, D
119. <i>Penicillus lamourouxii</i> Decaisne	Tux ⁵ , Th ⁸ , Lb ⁸	1	A, D

120. <i>Penicillus</i> sp.	En ⁸	1	A, D
121. <i>Rhipocephalus phoenix</i> f. <i>brevifolius</i> (J.Ellis & Solander) Kützing	Tux ⁴ , En ⁵ , Th ⁸ , Lb ¹ , 2,3,8	1	A, D
122. <i>Rhipocephalus phoenix</i> f. <i>longifolius</i> A. Gepp & E.S. Gepp	Tux ⁴ , En ⁵ , Th ⁸ , Lb ¹ , 2,3,8	1	A, D
123. <i>Udotea flabellum</i> (Ellis et Solander) Howe Orden: Dasycladales	Lb ^{2,3}	20	A, D
124. <i>Neomeris annulata</i> Dickie	Tux ⁴ , En ⁸ , Lb ^{1,2,3,8} , B ¹	10-20	A, D
125. <i>Neomeris mucosa</i> M.Howe	En ⁸	10-20	A, D
126. <i>Acetabularia crenulata</i> J.V. Lamouroux	En ⁸	20	A, D
127. <i>Acetabularia schenckii</i> K. Möbius	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ¹ , 2,3,8	20	A, D
128. <i>Parvocaulis pusillus</i> (M. Howe) S. Berger, U. Fettweiss, S. Gleissberg, L.B. Liddle, U. Richter, H. Sawitzky & G.C. Zuccarello División: Tracheophyta Clase: Monocotiledonia Orden: Alismatales	En ⁸	20	A, D
129. <i>Halophila decipiens</i> Ostenfeld	Tux ⁸ , En ⁸ , Th ⁸ , Lb ⁸	20	A, D
130. <i>Thalassia testudinum</i> K.D. Koenig	Tux ^{6,8} , Lb ^{2,8}	1	B, D

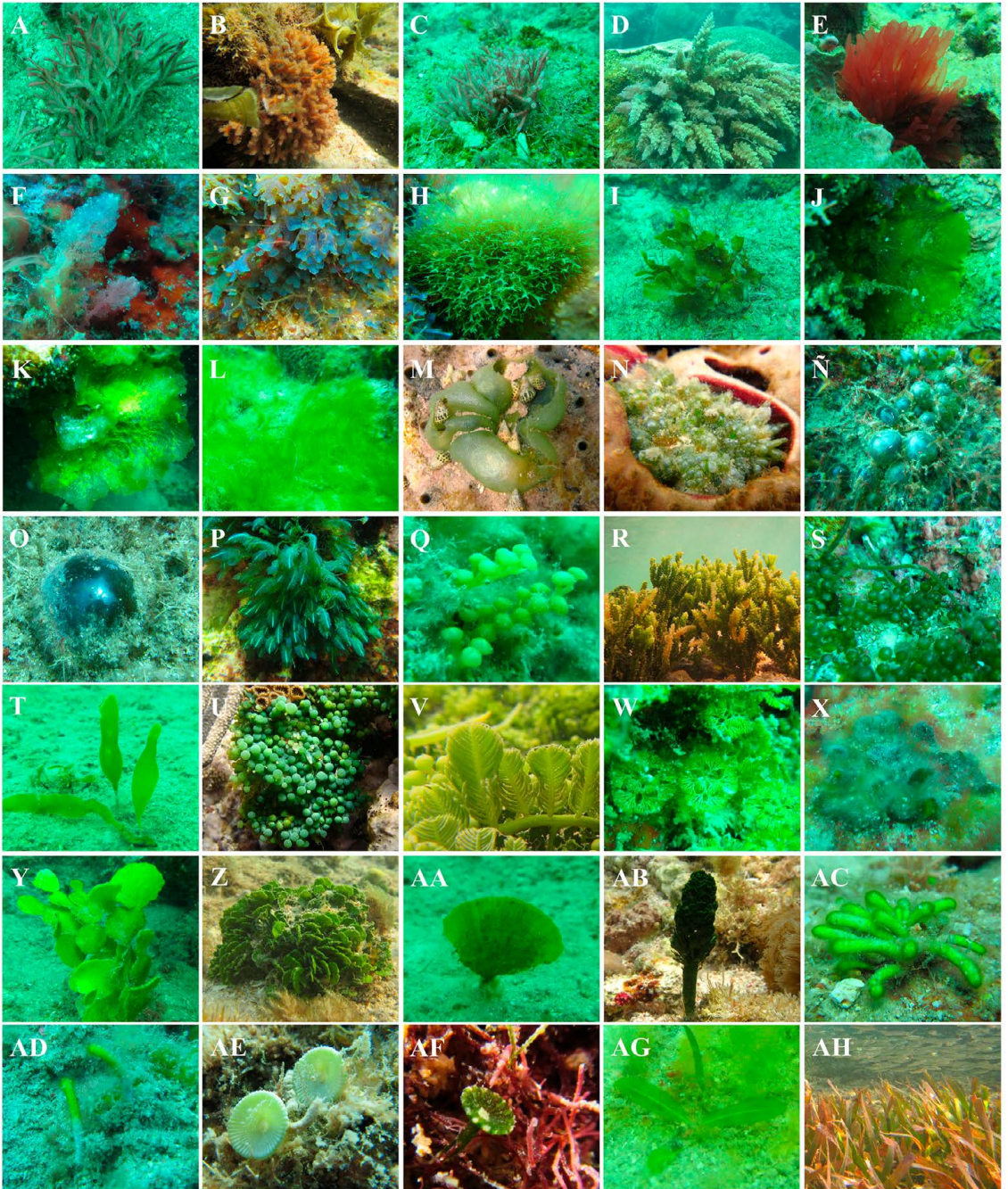
A escala de arrecife, el número de especies se incrementó de manera importante, en especial para el arrecife Enmedio, se reportaban en la literatura 11 especies y en este estudio se encontraron 74 registros nuevos lo que aumenta la riqueza florística a 80 especies, así mismo, para el arrecife Lobos de 55 especies (reportadas anteriormente) aumentó a 91 taxa. Mientras, las 53 especies que se observaron en el arrecife Tanhuijo constituyen los primeros registros, en cambio, las 27 especies que presenta el arrecife Blanquilla son registros que fueron obtenidos de la literatura (Cuadro 1 y 2).

Al comparar la riqueza de especies en el nivel de arrecife, los de tipo emergente con mayor riqueza (>80 especies) fueron Lobos, Tuxpan y Enmedio, por el contrario, el Blanquilla tiene menos registros de especies, al igual que el arrecife sumergido Oro Verde con 43 especies de algas (Cuadro 1). En orden de importancia, Chlorophyta seguido de Rhodophyta fueron las más representativas en los arrecifes emergentes, por el contrario, para el arrecife sumergido Oro Verde la riqueza de Chlorophyta decrece y prevalece Rhodophyta (Cuadro 1 y 2).

Por otra parte, de las 55 especies de Rhodophyta registradas en este estudio, al menos 21 especies se observaron en 4 arrecifes del SALT, la mayoría de las especies se encontraron en rocas coralinas y guijarros (Cuadro 2). En la laguna arrecifal (1 m de

profundidad) se encontraron 24 especies, entre las comunes *Amphiroa fragilissima* y *Acanthophora spicifera*, así como también especies del género *Ceramium*, *Laurencia* e *Hypnea* (Cuadro 2). Mientras, otras 16 se observaron entre 1-20 m de profundidad (Cuadro 2), por ejemplo, *Dichotomaria marginata* (Fig. 2A) y *Galaxaura rugosa* (Fig. 2B). Entre los 5 y 20 m de profundidad, se contemplaron principalmente 2 especies: *Parviphycus trinitatis* y *Predaea feldmannii* (Fig. 2E). En cambio, en las zonas más profundas (10-20 m) se encontraron 14 especies (Cuadro 2), siendo comunes *Tricleocarpa cylindrica* (Fig. 2C), *Asparagopsis taxiformis* (Fig. 2D) y *Dictyurus occidentalis* (Fig. 2F). Cabe resaltar que 19 especies de algas rojas se encontraron como epifitas de otras macroalgas rojas, pardas y verdes (e. g. *Galaxaura*, *Padina*, *Laurencia*, *Halimeda*) (Cuadro 2).

En relación con las Ochrophyta (algas pardas), solamente 6 especies se registraron en al menos 4 arrecifes del SALT. Principalmente estas algas pardas se establecen en rocas coralinas y guijarros, distribuyéndose más de la mitad de las especies en la laguna arrecifal (Cuadro 2), donde las más comunes de observar son *Colpomenia sinuosa*, *Dictyota menstrualis* y *Padina gymnospora*. Otras especies como *Sphacelaria tribuloides* y *Dictyota bartayresiana* (Fig. 2G), se



◀ Fig. 2. Especies de algas y fanerógamas del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, México. A. *Dichotomaria marginata*. B. *Galaxaura rugosa*. C. *G. subverticillata*. D. *Asparagopsis taxiformis*. E. *Predaea feldmannii*. F. *Dictyurus occidentalis*. G. *Dictyota bartayresiana*. H. *D. pulchella*. I. *Styopodium zonale*. J. *Anadyomene saldanhae*. K. *A. stellata*. L. *Chaetomorpha gracilis*. M. *Dictyosphaeria cavernosa*. N. *D. ocellata*. Ñ. *Valonia macrophysa*. O. *V. ventricosa*. P. *Bryopsis plumosa*. Q. *Caulerpa chemnitzia*. R. *C. cupresoides*. S. *C. microphysa*. T. *C. prolifera*. U. *C. racemosa*. V. *C. sertularioides*. W. *C. verticillata*. X. *Codium intertextum*. Y. *Halimeda discoidea*. Z. *H. opuntia*. AA. *Avrainvillea hayi*. AB. *Rhipocephalus phoenix* f. *brevifolius*. AC. *Neomeris annulata*. AD. *N. mucosa*. AE. *Acetabularia schenckii*. AF. *Parvocaulis pusillus*. AG. *Halophila decipiens*. AH. *Thalassia testudinum*

Fig. 2. Algae and phanerogam species of the Lobos-Tuxpan Reef System, Mexico. A. *Dichotomaria marginata*. B. *Galaxaura rugosa*. C. *G. subverticillata*. D. *Asparagopsis taxiformis*. E. *Predaea feldmannii*. F. *Dictyurus occidentalis*. G. *Dictyota bartayresiana*. H. *D. pulchella*. I. *Styopodium zonale*. J. *Anadyomene saldanhae*. K. *A. stellata*. L. *Chaetomorpha gracilis*. M. *Dictyosphaeria cavernosa*. N. *D. ocellata*. Ñ. *Valonia macrophysa*. O. *V. ventricosa*. P. *Bryopsis plumosa*. Q. *Caulerpa chemnitzia*. R. *C. cupresoides*. S. *C. microphysa*. T. *C. prolifera*. U. *C. racemosa*. V. *C. sertularioides*. W. *C. verticillata*. X. *Codium intertextum*. Y. *Halimeda discoidea*. Z. *H. opuntia*. AA. *Avrainvillea hayi*. AB. *Rhipocephalus phoenix* f. *brevifolius*. AC. *Neomeris annulata*. AD. *N. mucosa*. AE. *Acetabularia schenckii*. AF. *Parvocaulis pusillus*. AG. *Halophila decipiens*. AH. *Thalassia testudinum*

observaron en las áreas someras y profundas de los arrecifes, en cambio, *Dictyota pulchella* (Fig. 2H), *Styopodium zonale* (Fig. 2I) y *Sphorocnus pedunculatus* tienen distribución en las zonas profundas de los arrecifes (Cuadro 2).

Respecto a las Chlorophyta, 20 especies fueron observadas en al menos cuatro arrecifes del SALT, donde el 56% del total de especies son propias de la laguna arrecifal (Cuadro 2), siendo las más frecuentes de avistar: *Chaetomorpha gracilis* (Fig. 2L), *Dictyosphaeria cavernosa* (Fig. 2M), *Dictyosphaeria ocellata* (Fig. 2N), *Bryopsis plumosa* (Fig. 2P), *Caulerpa cupresoides* (Fig. 2R), *Caulerpa racemosa* (Fig. 2U), *Caulerpa sertularioides* (Fig. 2V), *Halimeda opuntia* (Fig. 2Z) y *Rhipocephalus phoenix* (Fig. 2AB). En cambio, algunas especies comunes como *Valonia macrophysa* (Fig. 2Ñ) y *Valonia ventricosa* (Fig. 2O) se registraron en la planicie como en las zonas profundas de 20 m (Cuadro 2). Así también, varias especies de algas verdes se observaron únicamente en las pendientes profundas (Cuadro 2), entre las que se pueden mencionar son: *Anadyomene*

saldanhae (Fig. 2J) *Anadyomene stellata* (Fig. 2K), *Caulerpa chemnitzia* (Fig. 2Q), *Caulerpa microphysa* (Fig. 2S), *Caulerpa verticillata* (Fig. 2W) y *Codium intertextum* (Fig. 2X), las cuales se establecen en roca coralina. Mientras, *Caulerpa prolifera* (Fig. 2T), *Halimeda discoidea* (Fig. 2Y), *Avrainvillea hayi* (Fig. 2AA), *Neomeris mucosa* (Fig. 2AC), *Neomeris annulata* (Fig. 2AD), *Acetabularia schenckii* (Fig. 2AE) y *Parvocaulis pusillus* (Fig. 2AF) son típicos en zonas de arena del talud arrecifal (Cuadro 2).

En cuanto a las fanerógamas marinas, se registra por primera vez para la zona *Halophila decipiens* (Fig. 2AG), esta especie se distribuye en el talud arrecifal de sotavento de los arrecifes emergentes. También se registró la presencia de *Thalassia testudinum* (Fig. 2AH) principalmente en la laguna arrecifal de Tuxpan y Lobos (Cuadro 2).

Nuevo registro para el suroeste del golfo de México

Clase Phaeophyceae

Orden Sporochneales

Familia Sporocnaceae

Género *Sporochnus* C.Agardh

Sporochnus pedunculatus

(Hudson) C.Agardh

Basiónimo: *Fucus pedunculatus*

Hudson

Fig. 3A-G

Material examinado. CBUV-00020, arrecife Enmedio (21.082253° N, -97.258003° W), recolectado a 12 m de profundidad, col. V. De la Cruz-Francisco, 18 junio, 2014.

Descripción. Frondas de color amarillento observadas en vivo (Fig. 3A), y amarillo ocre conservadas en formol (Fig. 3B). Talo principal de textura lisa, cilíndrico de 1 mm de diámetro y 30-40 cm de altura, sujeto al sustrato por un disco basal. Células medulares de 36.4-55.8 µm de diámetro y de 60.5-120.8 µm de largo (Fig. 3C-D). Células periféricas de 8.7-11.5 µm de diámetro (Fig. 3D). Ramas secundarias de 0.7-1 mm de diámetro y de 4-6 cm de largo (Fig. 3E-1), las cuales se distribuyen de manera helicoidal a lo largo de los talos. En fase reproductiva presentan un pedicelo y un mechón terminal de filamentos color pardo (Fig. 3E-3). Cada rama posee de 16-28 receptáculos, estas estructuras son gruesas y ovoides de 0.3-0.7 mm diámetro y de 1.5-2.3 mm de largo (Fig. 3E-2). Los filamentos se extienden de 3-7 mm, lo componen células de 17-20 µm de largo y 4.5-5 µm de ancho (Fig. 3E-G).

Hábitat. Sustrato arenoso y roca coralina, a 12 m de profundidad.

Distribución geográfica. Especie de amplia distribución, Europa, Asia, África (Fredericq *et al.* 2009). En el Atlántico Occidental, presente en Cuba (Alfonso *et al.* 2014; Suárez *et al.* 2015) y en el Caribe (Littler &

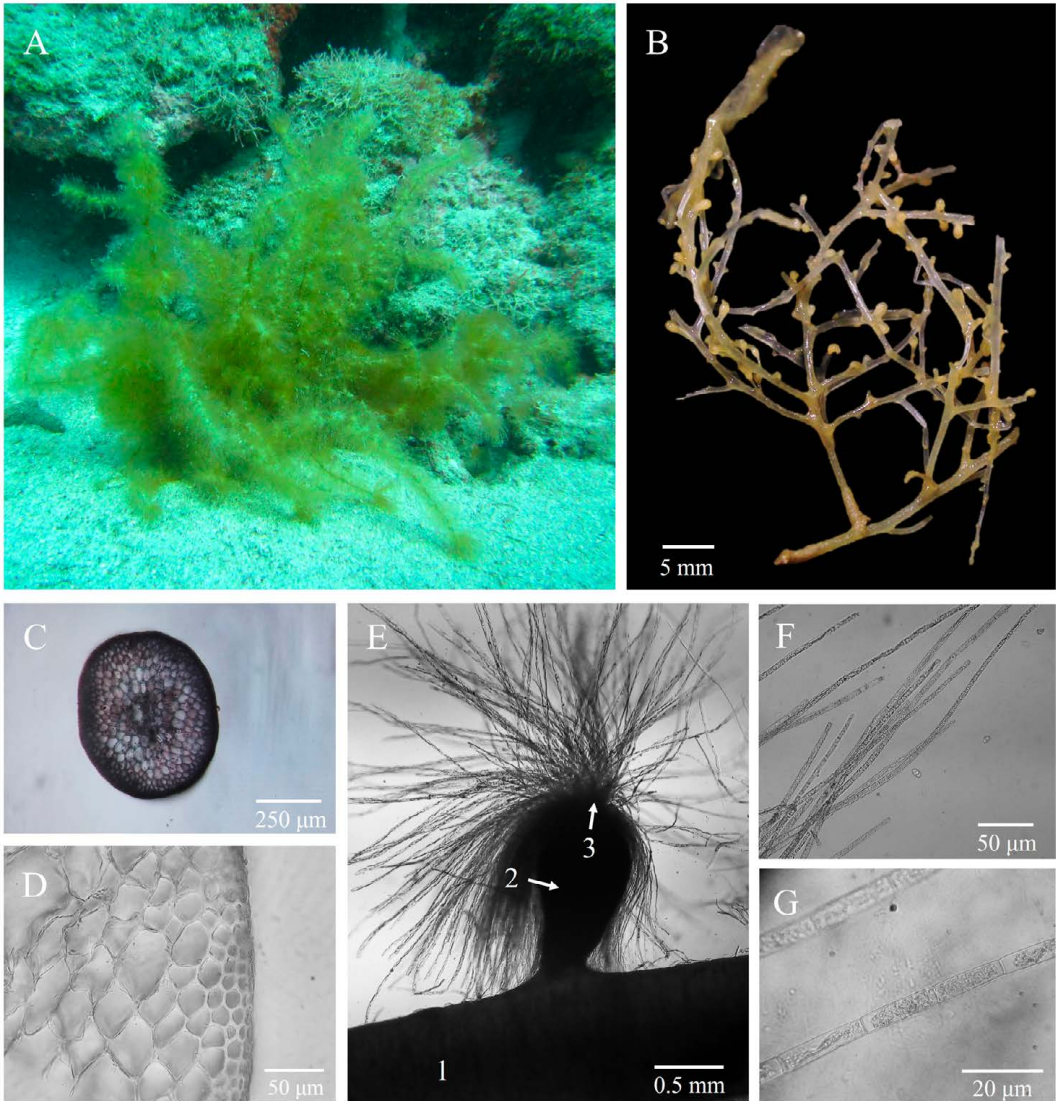


Fig. 3. A. Presencia *Sporochnus pedunculatus* en el arrecife Enmedio. B. Ramas secundarias con receptáculos. C. Corte transversal del talo. D. Células medulares y periféricas del talo. E. 1. Superficie de rama secundaria. 2. Receptáculo. 3. Mechón filamentoso. F-G. Vista aumentada de células que componen el mechón

Fig. 3 A. Presence of *Sporochnus pedunculatus* in the Enmedio reef. B. Secondary branches with receptacles. C. Cross section of the talus. D. Medullary and peripheral cells of the talus. E. 1. Secondary branch area. 2. Receptacle. 3. Filamentous tuft. F-G. Magnified view of cells that make up the tuft

Littler, 2000; Fredericq *et al.* 2009). México: Yucatán (Huerta-Musquiz *et al.* 1987). Se cita por primera vez para el suroeste del golfo de México.

Comentarios. Las características morfológicas del espécimen estudiado coinciden con las descripciones de Brostoff, (1984), Boraso & Negri (1997), Littler & Littler (2000) y Alfonso *et al.* (2014). En el golfo de México, además de *S. pedunculatus*, se ha reportado otra especie más, *Sporochnus bolleanus* Montagne con distribución para el sureste del golfo (Fredericq *et al.* 2009), sin embargo, esta especie presenta mayor longitud en el pedicelo (6-8 mm), receptáculo (1-10 mm) y en los filamentos del penacho (10-15 mm) (Brostoff, 1984).

DISCUSIÓN

El presente trabajo aporta una lista actualizada de la flora bentónica del SALT, el cual está compuesta por 130 especies. Esta riqueza florística representa un buen avance para el área natural protegida, dado que previamente se reportaban en la literatura 102 especies que correspondían en su mayoría al arrecife Lobos y Tuxpan. Sin embargo, dentro del corredor arrecifal, en el sistema arrecifal SAV se tienen registradas 280 especies hasta el 2019 (Galicia-García & Morales-García, 2007; Robinson *et al.* 2012; Galicia-García *et al.* 2013; Godínez-Ortega *et al.* 2015; 2019), por

lo que, se considera que el inventario florístico del SALT puede estar aún incompleto, razón por la cual se requiere mayor número de estudios encaminados a inventariar y explorar arrecifes poco conocidos de esta zona arrecifal.

En las lagunas arrecifales del SALT se observó mayor riqueza de algas, lo cual se puede atribuir a que es una zona protegida del oleaje, que a diferencia de la cresta arrecifal donde las especies están expuestas al estrés ambiental por el embate de las olas (Lehman, 2010), también se puede atribuir a la existencia de una amplia variedad de sustratos como rocas, guijarros, arena y pastos marinos, los cuales son utilizados por las propias algas para fijarse (González-Gándara *et al.* 2007). En cambio, en las pendientes profundas se registró menor número de especies de algas, lo cual puede estar asociado al tipo de fondo que principalmente es sustrato duro y con corales masivos donde esencialmente se establecen algas rojas filamentosas (González-González *et al.* 2016), las cuales forman tapetes que cubren las rocas coralinas y las superficies muertas de los corales (Lehman, 2010; Luna & De la Cruz-Francisco, 2017).

Las algas rojas encabezan el grupo con mayor riqueza de especies para el SALT, lo cual es normal, dado que es el grupo más diverso en especies en el golfo de México (Ortega *et al.* 2002; Fredericq *et al.* 2009). No obstante, dentro del corredor arrecifal, se

han reportado mayor número de especies de algas rojas en el SAV, siendo las familias más representativas: Corallinaceae, Gelidiaceae, Gracilariaceae, Ceramiaceae, Rhodomelaceae, (Galicia-García & Morales-García, 2007), por lo tanto, se recomienda un mayor esfuerzo de trabajo de tipo taxonómico, con la finalidad de contribuir con más registros de este grupo de algas para la zona de estudio, además es un grupo difícil de identificar y que requiere de estudios detallados (Lehman, 2010).

Por otra parte, varias especies de rodófitas (*G. rugosa*, *Amphiroa* y *Laurencia*), ocrofitas (*Padina gymnospora* y *Dictyota menstrualis*) y clorófitas (*C. sertularioides*, *C. racemosa* y *D. cavernosa*, *H. opuntia* y *R. phoenix*) observadas en zonas protegidas de la laguna arrecifal denotan una típica zonación que ha sido descrita previamente por Lehman (2010) para el arrecife Isla de Enmedio. No obstante, la distribución de las macroalgas depende del tipo de sustrato (Garduño-Solórzano *et al.* 2005) y las rocas coralinas parecen ser uno de los sustratos más importantes para las macroalgas, dado que se registró la mayor cantidad de especies en el presente estudio, estos sustratos son duros, consolidados y por su textura rugosa favorecen el desarrollo de algas (Garduño-Solórzano *et al.* 2005; González-Gándara *et al.* 2007; Martínez-Daranas *et al.* 2016).

Particularmente, *Valonia* spp y *Dictyosphaeria* spp fueron encontradas en los intersticios de las rocas coralinas y entre colonias de coral, habitualmente es una estrategia para protegerse del oleaje (Garduño-Solórzano *et al.* 2005). Así también, *Dictyota menstrualis*, *Dictyota bartayresiana*, *Caulerpa racemosa*, *Caulerpa cupressoides* y *Halimeda opuntia* fueron comunes en zonas dominadas por corales escleractinios (*Porites* spp y *Pseudodiploria* spp), estos resultados coinciden con lo reportado por Mateo-Cid *et al.* (1996) para el arrecife Isla Verde y por González-Gándara *et al.* (2007) para el arrecife Tuxpan.

La arena constituye un buen sustrato para las Chlorophyta, principalmente las que presentan mecanismos de adaptación para anclarse al sustrato *e. g.* *Caulerpa*, *Halimeda* y *Rhipocephalus* (Garduño-Solorzano *et al.* 2005). En las lagunas arrecifales del SALT, fue común observar varias especies de algas verdes psamófilas como *C. racemosa*, *C. sertularioides*, *H. opuntia*, *Avrainvillea nigricans* y *R. phoenix*, estas especies también son típicas en otras regiones del golfo de México (Mateo-Cid *et al.* 1996; 2013; Garduño-Solorzano *et al.* 2005). Sin embargo, en las zonas arenosas profundas del SALT, la composición de especies psamófilas está representado por otras: *Halimeda discoidea*, *Avrainvillea hayi*, *Neomeris annulata*, *Acetabularia schenckii* y *Parvocaulis*

pusillus, las cuales pueden distribuirse en profundidades >30 m (Littler & Littler, 2000).

Cabe mencionar que especies como *Caulerpa chemnitzia*, *Caulerpa microphysa*, *Caulerpa verticillata*, *Codium intertextum*, *A. saldanhae*, *H. discoidea*, *A. taxiformis* y *S. zonale*, fueron observadas particularmente en las zonas profundas de los arrecifes del SALT, esta distribución batimétrica parece ser normal dado que en áreas del Caribe y la Florida este ensamblaje de macroalgas se han encontrado a más de 60 m de profundidad (Littler & Littler, 2000; Leichter *et al.* 2008).

Respecto a las fanerógamas marinas, de las nueve especies que se reportan para México (Atlántico y Pacífico) (Lot-Helgueras, 1971; Cervantes-Maldonado & Quintero, 2016), se encontraron en este estudio: *Halophila decipiens* y *Thalassia testudinum*. La única que se observó en la mayoría de los arrecifes del SALT fue *H. decipiens*, principalmente en zonas arenosas de sotavento, mientras, *T. testudinum* se encontró, en especial, en el arrecife Lobos, donde ocupa extensas áreas en la laguna arrecifal (Chávez *et al.* 1970), también se observó en el Tuxpan, pero presenta un reducido parche al oeste de la planicie arrecifal (González-Gándara *et al.* 2007; Aguilera-Pérez & De la Cruz-Francisco, 2017). Ambas especies de pastos son las únicas de la flora marina del SALT que presentan un estatus de riesgo

dado que están catalogadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 con la categoría de protección especial (DOF, 2019), por lo que es necesario redoblar esfuerzos para estudiar la estructura poblacional de cada una de estas fanerógamas marinas.

Si bien, este trabajo documenta la riqueza florística de al menos cinco de los diez arrecifes que se distribuyen en el norte de Veracruz, aún es necesario dirigir más estudios en arrecifes que no han sido explorados como los arrecifes que recientemente han sido cartografiados: arrecife Corazones y Pantepec Sur, además de los arrecifes Blake y Piedras Altas, estos últimos localizados frente a las costas de los municipios de Cazonas y Tecolutla (Ortiz-Lozano *et al.* 2019).

Por último, el presente trabajo sienta las bases para continuar con más estudios relacionados a la flora marina bentónica en los arrecifes del SALT, a fin de obtener una lista completa de las especies, de esta manera se podrá realizar comparaciones de la riqueza, distribución y conectividad con los demás arrecifes coralinos del golfo de México. Así también, la presente información puede ser de utilidad en materia de manejo y protección en especial para salvaguardar las especies en riesgo como los pastos marinos. Adicionalmente, la actual lista de algas y fanerógamas del SALT evidencia resultados positivos, con un incremento considerable de la riqueza florística para los arrecifes

Lobos, Enmedio y Tuxpan, no obstante, también expone huecos de información como sucede con los arrecifes Blanquilla y Medio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Itzel Morales Quijano, Irving Abad Aguilar, Ivonne Luna Ortega y Víctor Alfonso Reyna Matezans por su apoyo en las labores de campo. A los revisores anónimos por sus comentarios y sugerencias.

REFERENCIAS

- Aguilar-Rosas, R., Aguilar-Rosas, L. E., Ávila S. G. E., González Y. O. & Becerril B. F. (2010). Macroalgas submareales de la bahía de todos Santos, Baja California, México. *Rev. Mex. Biodiv.*, 81(3), 601-6018. <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2010.003.632>
- Aguilera-Pérez, A. & De la Cruz-Francisco, V. (2017). Composición taxonómica de las algas césped y su macrofauna asociada, arrecife Tuxpan, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 52(2), 66-80.
- Alfonso S., Y., Martínez-Daranas, B., Suárez A. A. M. & Rey-Villiers, N. (2014). Nuevos registros para la flora marina bentónica cubana. *Rev. Invest. Mar.*, 34(1), 18-23.
- Alves, A. M., Gestinari, L. M. & Moura, C. W. D. N. (2010). La familia Valoniaceae (Chlorophyta) en el estado de Bahía, Brasil: aspectos morfológicos y de distribución. *Hidrobiológica*, 20(2), 171-184.
- Arellano-Méndez, L. U., Bello-Pineda, J., Aké-Castillo, J. A., Pérez-España, H. & Martínez-Cárdenas, L. (2016). Distribución espacial y estructura morfométrica de las praderas de *Thalassia testudinum* (Hydrocharitaceae) en dos arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *Rev. Biol. Trop.*, 64(2), 427-448. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i2.19810>
- Bandeira-Pedrosa, M. E., Pereira, S. M. B. & Oliveira, E. C. (2004). Taxonomy and distribution of the Green algal genus *Halimeda* (Bryopsidales, Chlorophyta) in Brazil. *Braz. J. Bot.*, 27(2), 363-377. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042004000200015>
- Boraso, A. L. & Negri, R. (1997). Presencia de *Sporochnus pedunculatus* (Sporochnales, Phaeophycophyta) en la costa Argentina. *Physis (Buenos Aires)*, 54(126-127), 23-24.
- Brostoff, W. N. (1984). *Sporochnus dotyi* sp. nov. (Sporochnales, Phaeophyta), a brown alga from Hawaii. *Pac. Sci.*, 38(2), 177-181.
- Cervantes-Maldonado, A. & Quintero, E. (2016). La importancia de conservar las praderas de pastos marinos. *CONA-BIO Biodiversitas*, 128, 12-16.
- Chávez, E. A., Hidalgo, E. & Sevilla, M. L. (1970). Datos acerca de las comunidades bentónicas del arrecife de Lobos, Veracruz. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.*, 31, 211-80.
- De la Cruz-Francisco, V., González-González, M. & Flores-Galicia, L. (2016). Distribución de los hábitats bentónicos de la laguna del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, México. *Rev. Invest. Mar.*, 36(1), 63-78.
- DOF. (2009). Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna, la región conocida como Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, localizada frente a las costas de los municipios

- de Tamiagua y Tuxpan, en el Estado de Veracruz. Diario Oficial de la Federación. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_decretos/132_decreto.pdf.
- DOF. (2019). Modificación del anexo normativo III, lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019.
- Flores-Leiva, L., Gavio, B., Díaz-Ruiz, M., Camacho, O. & Díaz-Pulido, G. (2010). Recolección y preservación de macroalgas marinas: una guía para estudios ecológicos. *Rev. Intropica*, 5, 97-103.
- Fong, P. & Paul, V. J. (2011). Coral reef algae. In: Z. Dubinsky & N. Stamber (Eds.), *Coral reefs: an ecosystem in transition* (pp. 241-272). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0114-4_17
- Fredericq, S., Cho, T. O., Earle, S. A., Gurgel, C. F., Krayesky, D. M., Mateo-Cid, L. E., Mendoza-González, A. C., Norris, J. N. & Suárez, A. M. (2009). Seaweeds of the Gulf of Mexico. In D. L. Felder & D.K. Camp (Eds.), *Gulf of Mexico-Origins, Waters, and Biota. Biodiversity* (pp. 187-259). E.E. U.U. Texas A & M Press, College Station.
- Galicia-García, C. & Morales-García, A. (2007). Investigaciones sobre macroalgas realizadas en el sistema arrecifal veracruzano. En A. Granados-Barba, L. G. Abarca-Arenas & J. M. Vargas-Hernández (Eds.), *Investigaciones científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano* (pp. 141-160). México: Universidad Autónoma de Campeche.
- Galicia-García, C., Robinson, N. M. & Okolodkov, Y. (2013). New records of red algae (Rhodophyta) for Cabezo reef, Natinal Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico. *Acta Bot. Mex.*, 102, 39-76.
- Garduño-Solórzano, G., Godínez-Ortega, J. L. & Ortega, M. M. (2005). Distribución geográfica y afinidad por el sustrato de las algas verdes (Chlorophyceae) bénticas de las costas mexicanas del golfo de México y mar Caribe. *B. Soc. Bot. Mex.*, 76, 61-78. <https://doi.org/10.17129/botsci.1705>
- Godínez-Ortega, J. L., Ramírez-García, P. & Granados-Barba, A. (2015). Estructura comunitaria del macrofitobentos en los arrecifes De Enmedio y Chopas. En A. Granados-Barba, L. Ortíz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (Eds.), *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México* (pp. 35-46). México: Universidad Autónoma de Campeche.
- Godínez-Ortega, J. L., Ramírez-García, P., Granados-Barba, A. & Wynne, M. (2019). New records of subtidal benthic marine algae from the state of Veracruz, southern Gulf of Mexico. *Rev. Mex. Biodivers.*, 90: e902719. <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2719>
- González-Gándara, C., M. Cruz-Arellano, C. Domínguez-Barradas, A. Serrano-Solís & Basáñez-Muñoz, A. J. (2007). Macroalgas asociadas a cuatro hábitats del Arrecife de Tuxpan, Veracruz, México. *UDO Agrícola*, 7(1), 252-257.
- González-González, M., De La Cruz-Francisco, V., Morales-Quijano, I. & Orduña-Medrano, R. E. (2016). Diversidad y cobertura de la comunidad bentónica del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, México. *Rev.*

- Mar. Cost.*, 8(2), 47-65. <https://doi.org/10.15359/revmar.8-2.3>
- Guiry, M. D. & Guiry, G. M. (2019). Algae-Base. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>.
- Huerta-Múzquiz, L. & Barrientos, A. C. (1965). Algas marinas de la Barra de Tuxpan y de los arrecifes Blanquilla y Lobos. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol.*, 13(1-4), 5-21.
- Huerta-Múzquiz, L., Mendoza González, A. C. & Mateo Cid, L. E. (1987). Avance sobre un estudio de las algas marinas de la Península de Yucatán. *Phytologia*, 62, 23-53.
- Ibarra-Morales, N. & Abarca Arenas, L. G. (2007). Distribución, abundancia y biomasa de *Thalassia testudinum* en la laguna del arrecife Sacrificios, Veracruz. En A. Granados Barba, L. G. Abarca Arenas & J. M. Vargas Hernández (Eds.), *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano* (pp. 161-172), México: Universidad Autónoma de Campeche.
- Lehman, R. L. (2010). Algas de los arrecifes. En J.W. Tunnell Jr., E.A. Chávez & K. Withers (Eds), *Arrecifes Coralinos del Sur del Golfo de México* (pp. 129-140). México: Instituto Politécnico Nacional.
- Leichter, J. J., Dale S., M. & Genovese, S. J. (2008). Deep water macroalgal communities adjacent to the Florida Keys reef tract. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 356, 123-138. <https://doi.org/10.3354/meps07230>
- León-Álvarez, D., Candelaria-Silva, C., Hernández-Almaraz, P. & León-Tejera, H. (2007). *Géneros de algas marinas tropicales de México: 1. Algas verdes*. México: Facultad de Ciencias, UNAM. <https://doi.org/10.22201/10.9786070289910e.2017>
- Littler, D. S. & Littler, M. M. (2000). *Caribbean reef plants: an identification guide to the reef plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of Mexico*. EE. UU.: OffShore Graphics Inc.
- Littler, D. S. & Littler, M. M. (1997). An illustrated marine flora of the Pelican Cays, Belize. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 9, 1-149.
- Lot-Helgueras, A. (1971). Estudio de las fanerógamas marinas en las cercanías de Veracruz, Ver. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. Méx., Ser. Bot.*, 42(1), 1-48.
- Luna-Ortega, I. & De la Cruz-Francisco, V. (2017). Ensamblajes de macroalgas en superficies muertas de corales escleractinios (Anthozoa: Scleractinia) en el arrecife Oro Verde, Veracruz, México. *CICIMAR Océánides*, 32(1), 11-23.
- Martínez-Daranas, B., Esquivel, M., Alcolado, P. M. & Jiménez, C. (2016). Composición específica y abundancia de macroalgas y angiospermas marinas entre arrecifes coralinos de la plataforma Sudoccidental de Cuba (1987). *Hidrobiológica*, 26(2), 323-337. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2016v26n2/martinez>
- Martínez-Daranas, B., Macías-Reyes, D. & Cano-Mallo, M. (2013). *Protocolo para el monitoreo de los pastos marinos*. Cuba: Centro Nacional de Áreas Protegidas.
- Mateo-Cid, L. E., Mendoza-González, A. C. & Galicia-García, C. (1996). Algas marinas de Isla Verde, Veracruz, México. *Acta Bot. Mex.*, 36, 59-75. <https://doi.org/10.21829/abm36.1996.762>
- Mateo-Cid, L. E., Mendoza-González, A. C., Ávila-Ortiz, A. G. & Díaz-Martínez, S. (2013). Algas marinas bentónicas del litoral de Campeche, México. *Acta Bot. Mex.*, 104, 53-92. <https://doi.org/10.21829/abm104.2013.57>

- Mendoza-González, A. C., Mateo-Cid, L. E., García-López, D. Y. & Acosta-Calderon, J. A. (2014). Diversity and distribution of articulated Coralline algae (Rhodophyta, Corallinales) of the Atlantic coast of Mexico. *Phytotaxa*, 190(1), 045-063. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.190.1.6>
- Moura, C. W. D. N., Almeida, W. R. D., Santos, A. A. D., Junior, A., Alves, A. M. & Moniz-Brito, K. L. (2014). Polyphysaceae (Dasycladales, Chlorophyta) in Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil. *Acta Bot. Brasil.*, 28(2), 147-164. <https://doi.org/10.1590/s0102-33062014000200002>
- Ortega, M. M., Godínez, J. L. & Garduño-Solórzano, G. (2001). *Catálogo de algas bénticas de las costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe*. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortiz-Lozano, L., Colmenares-Campos, C. & Gutiérrez-Velázquez, A. L. (2019). Arrecifes Sumergidos y su Relevancia para el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara & D. Salas-Monreal (Eds.), *Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México* (pp. 1-36). México: Universidad Autónoma de Campeche, México. <https://doi.org/10.26359/epomex0319>
- Ortiz-Lozano, L., Pérez-España, H., Granados-Barba, A., González-Gándara, C., Gutiérrez-Velázquez, A. & Martos, J. (2013). The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean Coast. Manage.*, 86, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.10.006>
- Pacheco-Cervera, M. C., Pacheco-Ruiz, I., Ramos-Miranda, J., Cetz-Navarro, N. P. & Soto-Ávila, J. L. (2010). Presencia del género *Caulerpa* en la Bahía de Campeche, Camp. *Hidrobiológica*, 20(1), 57-69.
- Pedroche, F. F. & Senties, A. (2003). Ficología marina mexicana. Diversidad y Problemática actual. *Hidrobiológica*, 13, 23-32.
- Ramírez-García, P., Terrados M., J., Hernández Martínez, O., Pedraza, K. & Quiroz, A. (2007). La vegetación de *Thalassia testudinum* en los arrecifes de Hornos, Sacrificios y Enmedio: Biomasa, productividad y dinámica de crecimiento. En A. Granados Barba, L. G. Abarca Arenas & J. M. Vargas Hernández (Eds.), *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano* (pp. 173-184). México: Universidad Autónoma de Campeche.
- Ramírez-Rodríguez, A. & Blanco-Pérez, R. (2011). Macroalgas bentónicas marinas: conocimiento actual. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) (Eds.), *La biodiversidad en Veracruz, Estudio de Estado* (pp. 51-57). México: Conabio/Gobierno del Estado de Veracruz/ Universidad Veracruzana/Instituto de Ecología A. C.
- Robinson, N. M., Galicia-García, C. & Okolodkov, Y. (2012). New records of Green (Chlorophyta) and Brown algae (Phaeophyceae) for Cabezo reef, National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico. *Acta Bot. Mex.*, 101, 11-48. <https://doi.org/10.21829/abm101.2012.24>
- Romeu, E. (1996). Pastos marinos, una cuna para la biodiversidad. CONABIO. *Biodiversitas*, 5, 10-14.
- Senties, A. & Fujii, M. T. (2002). El complejo *Laurencia* (Rhodomelaceae,

- Rhodophyta) en el Caribe mexicano. En A. Senties & K. M. Dreckmann (Eds.), *Monografías fitológicas* (pp. 119-192). México: UAM Iztapalapa y Red Latinoamericana de Botánica.
- Solé, M. A. & Foldats, E. (2003). El género *Dictyota* (Phaeophyceae, Dictyotales) en el Caribe venezolano. *Acta Bot. Venez.*, 26(1), 41-81.
- Suárez, A.M., Martínez-Daranas, B. & Alfonso, Y. (2015). *Macroalgas marinas de Cuba*. Cuba: Editorial Universidad de La Habana.
- van Tussenbroek, B. I., Barba, M. G., Wong, J. G. R., van Dijk, J. K. & Waycott, M. (2010). *Guía de los pastos marinos tropicales del Atlántico oeste*. México: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. <https://doi.org/10.18475/cjos.v46i2.a26>
- Vieira, C., Camacho, O., Wynne, M.J., Mattio, L., Anderson, R. J., Bolton, J.J., Sansón, M., D'hondt, S., Leliaert, F., Fredericq, S., Payri, C. & De Clerck, O. (2016). Shedding new light on old algae: Matching names and sequences in the Brown algal genus *Lobophora* (Dictyotales, Phaeophyceae). *Taxon*, 65, 689-707. <https://doi.org/10.12705/654.1>
- Zúñiga-Ríos, D., Martínez-Daranas, B. & Alcolado, P. M. (2012). Ficoflora de los arrecifes coralinos del archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Ser. Oceanol.*, 11, 57-76.

Nerocila acuminata (Isopoda: Cymothoidae) como parásito de cápsulas ovígeras de *Rostroraja texana*: lista de hospederos conocidos

Nerocila acuminata (Isopoda: Cymothoidae) as an egg capsule parasite of *Rostroraja texana*: list of known hosts

Luis Fernando Del Moral-Flores^{1*}, Luis Alfredo Sotelo-Sánchez¹ y Manuel Ortiz²

RESUMEN

Los isópodos de la familia Cymothoidae se caracterizan por ser ectoparásitos de una gran variedad de especies marinas, que incluyen al grupo de los tiburones y rayas. Sin embargo, las interacciones con este grupo son poco conocidas. Así, el presente trabajo tiene como objetivo evidenciar el primer registro de la asociación de cuatro isópodos hembras de *N. acuminata* (20-28 mm longitud total, 15-18 mm de ancho) con dos cápsulas ovígeras de *R. texana* encontradas en el estómago del tiburón martillo común *S. lewini*. La captura del tiburón se realizó el 17 de febrero de 2019 en la pesca artesanal de Salinas Punta Roca Partida, sur de Veracruz, México. Se presenta, además, una lista de 67 especies nominales de peces hospederos, así como algunos peces no identificados, incluidas en 36 familias, 19 órdenes y dos clases, registrados para *N. acuminata*, típica del Atlántico occidental, y su congénere del Pacífico oriental, *N. californica*. Esto demuestra que ambas especies de isópodos tienen varios peces hospedantes; sin embargo, se observa preferencia por las especies demersales, al destacar la familia Sciaenidae.

Palabras clave: Batoidei, ectoparásito, Elasmobranchii, golfo de México, isópodo

ABSTRACT

Isopods of the Cymothoidae family are characterized for being ectoparasites of a wide variety of marine species including the shark and ray group. However, little is known of their interaction with this group. Consequently, this paper is aimed to present the first record of the association of four female *N. acuminata* isopods (20-28 mm total length, 15-18 mm wide) with two egg

- 1 Laboratorio de Zoología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Av. De los Barrios N.º 1, Los Reyes Iztacala, C. P. 54090 Tlalnepantla, Estado de México, México.
- 2 Laboratorio de Crustáceos, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Av. De los Barrios N.º 1, Los Reyes Iztacala, C. P. 54090 Tlalnepantla, Estado de México, México. delmoralfer@comunidad.unam.mx* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7804-2716>, sotelos.alfredo@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5798-5048>, ortiztouzet@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6985-8019>

capsules of *R. texana*, found in the stomach of a *S. lewini* common hammerhead shark. The shark was captured on February 17, 2019 using artisanal fishing in Salinas Punta Roca Partida, southern Veracruz, Mexico. A list of 67 nominal host fish species as well as some unidentified fish is presented including 36 families, 19 orders, and two classes, registered for *N. acuminata*, which is characteristic of the western Atlantic, and its eastern Pacific counterpart, *N. californica*. This demonstrates that both isopod species have several host fish; however, a preference for demersal species is observed, highlighting the Sciaenidae family.

Keywords: Batoidei, ectoparasite, Elasmobranchii, Gulf of Mexico, isopod

INTRODUCCIÓN

Los isópodos de la familia Cymothoidae son ectoparásitos de varias especies de peces marinas, estuarinas y dulceacuícolas (Smit *et al.* 2014). El género *Nerocila* Leach, 1818 cuenta con al menos 65 especies válidas (Trilles *et al.* 2013). En el Atlántico occidental, cuatro de ellas tienen distribución alopátrica. *Nerocila lanceolata* se extiende de nueva Inglaterra a Panamá, incluye a Cuba y las Bermudas; *Nerocila fluviatilis* de Brasil a Trinidad y Tobago; *Nerocila benrosei* del norte de las Bahamas y posiblemente Bermuda (Bunkley-Williams & Williams, 1999); y *Nerocila acuminata* con distribución más amplia y que en fase adulta se considera ectoparásito de peces marinos, incluye tiburones y rayas (Elasmobranchii), tanto pelágicos como demersales, los cuales se adhieren a la piel en la base de las aletas dorsal, pélvica y caudal, además de introducirse a los arcos branquiales y boca (Brusca, 1981; Segal, 1987).

Se han reportado 42 especies de elasmobranquios que son parasitadas

por isópodos (Moreira & Sadowsky, 1978; Benz & Bullard, 2004; Caira *et al.* 2012). Estos pertenecen a las familias Aegidae, Cirolanidae, Corallanidae, Gnathiidae y Cymothoidae (Caira & Healy, 2004). Algunos de estos pueden parasitar a más de una especie de tiburón o raya. Así, en el Atlántico occidental *Natatolana borealis* se ha encontrado adherida a la piel, cavidad pericárdica y ventrículo o cono arterioso de al menos ocho especies de tiburones (Bird, 1978). Mientras que tres especies de isópodos (*Aega* sp., *Aegaphales* sp. y *Cirolana* sp.) se han reportado que infestan a dos especies de tiburones de aguas profundas (Shi-pley *et al.* 2017).

Los registros preexistentes de *N. acuminata* y *N. californica* que parasitan a peces son poco documentados, además, se han mezclado los registros que las consideran una sola especie (Brusca, 1981; Kensley & Shotte, 1989; Carrillo-Colín *et al.* 2016). Sin embargo, no existen trabajos que reporten al isópodo *N. acuminata* que parasita las cápsulas ovígeras de *Ros-troraja texana* (Chandler, 1921), por

lo que el objetivo del presente estudio es informar por primera vez esta asociación, encontrada indirectamente en el estómago de un tiburón martillo común capturado en la región costera de Los Tuxtlas, Veracruz, golfo de México, así como presentar una lista actualizada de los peces hospederos de *N. acuminata* y *N. californica*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material analizado proviene de un tiburón martillo *Sphyrna lewini* capturado con un palangre (línea madre de 1 500 m, orinques de 2 m, canastas de 100 m de profundidad, reinales de 60-200 m y anzuelos del número 9/0; Fig. 1) el 17 de febrero de 2019 frente a la planicie costera en el municipio San Andrés Tuxtla, al sur de Veracruz, 18° 42' 18.3" N – 95° 14' 38.8" W, golfo de México, por pescadores ribereños de la comunidad de Salinas Roca Partida (Fig. 2).

El hospedero fue hallado como parte del espectro trófico del tiburón martillo. Se encontraron dos cápsulas ovígeras de *R. texana* las cuales tenían fuertemente adheridas cuatro especímenes hembras de *N. acuminata*. Dichos isópodos junto con las cápsulas ovígeras se fijaron con formal al 10% y preservaron en alcohol al 70%. Se trasladaron al Laboratorio de Zoología en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala para identificarlos taxonómicamente por medio de claves

especializadas (Brusca, 1981; Kensley & Schotte, 1989; Trilles, 1991; McEachran & Fechhelm, 1998). La validación del estatus taxonómico actual de los isópodos sigue a la propuesta de Boyko *et al.* (2020).

Finalmente, se elaboró una lista de hospederos conocidos para *N. acuminata* y *N. californica*, con los registros previos (Brusca, 1978, 1981; Brusca & Iverson, 1985; Álvarez-León, 1981; Williams & Bunkley-Williams, 2003; Carrillo-Colín *et al.* 2016). Se actualizó el estado taxonómico de las especies de ícticas con ayuda de Fricke *et al.* (2020) y se ordenaron a partir de la clasificación de van der Laan *et al.* (2019).

RESULTADOS

Los cuatro isópodos colectados pertenecen a la especie *N. acuminata*, que presenta la siguiente posición taxonómica.

TAXONOMÍA

- Filo Arthropoda von Siebold, 1848
- Subfilo Crustacea Brünlich, 1772
- Clase Malacostraca Latreille, 1802
- Subclase Eumalacostraca Grobben, 1892
- Superorden Peracarida Calman, 1904
- Orden Isopoda Latreille, 1817
- Suborden Flabellifera Sars, 1882
- Familia Cymothoidae Leach, 1814
- Género *Nerocila* Leach, 1818
- Nerocila acuminata* Schioedte & Meinert, 1881

(Fig. 3)

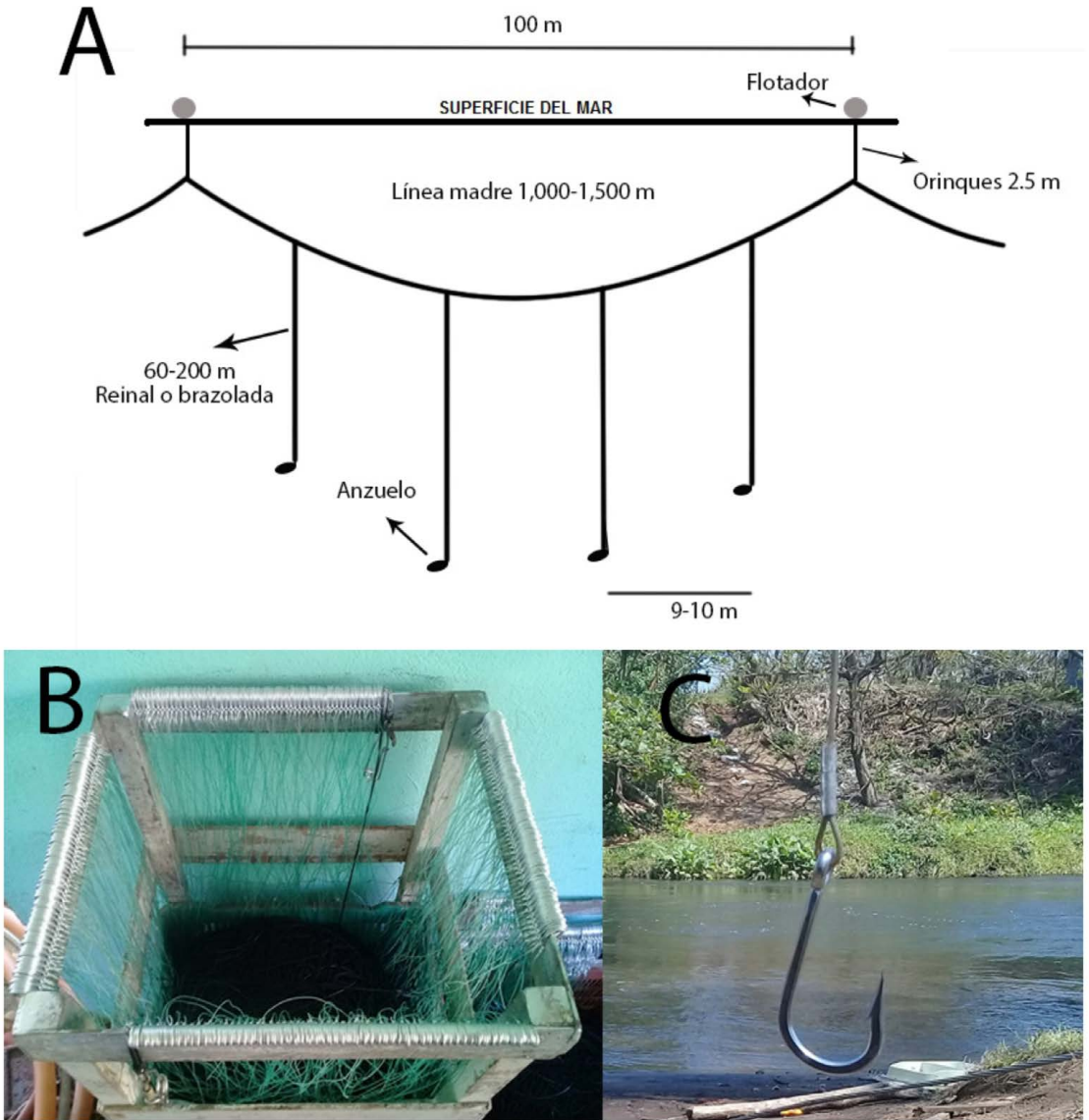


Fig. 1. A) Esquema y características del palangre utilizado por los pescadores ribereños de la comunidad de Salinas Roca Partida, B) arte de pesca bajo resguardado antes de su uso, y c) anzuelo del número 9/0 utilizado en el palangre

Fig. 1. A) Design and characteristics of the longline used by the Salinas Roca Partida fishermen, B) Fishing gear protected before use, and C) Hook number 9/0 used in the longline



Fig. 2. Mapa de la región de los Tuxtlas, suroeste del golfo de México, la flecha indica el área de estudio de la comunidad pesquera de Salinas Punta Roca Partida, Veracruz, México

Fig. 2. Map of the Tuxtlas region, southwest of Gulf of México. The arrow indicates the study area in the fishing community of Salinas Punta Roca Partida, Veracruz, Mexico

Características del hospedero: *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834), macho maduro de 2.9 m de LT, capturado a una profundidad cercana a los 60 m, fecha de captura 17 febrero 2019; dos capsulas ovígeras de *R. texana* (Chandler, 1921), 10.5 cm de altura, 6 cm de ancho.

Material examinado: cuatro hembras adultas, longitud total 20-28

mm, ancho 15-18 mm, localidad: Salinas Punta Roca Partida, San Andrés Tuxtla, México; colectado externamente de las cápsulas ovígeras de *R. texana*.

La compilación bibliográfica antes consultada, así como la actualización y validación de los registros se realizó por medio del proyecto de [Fricke et al. \(2020\)](#) permitió referir 67

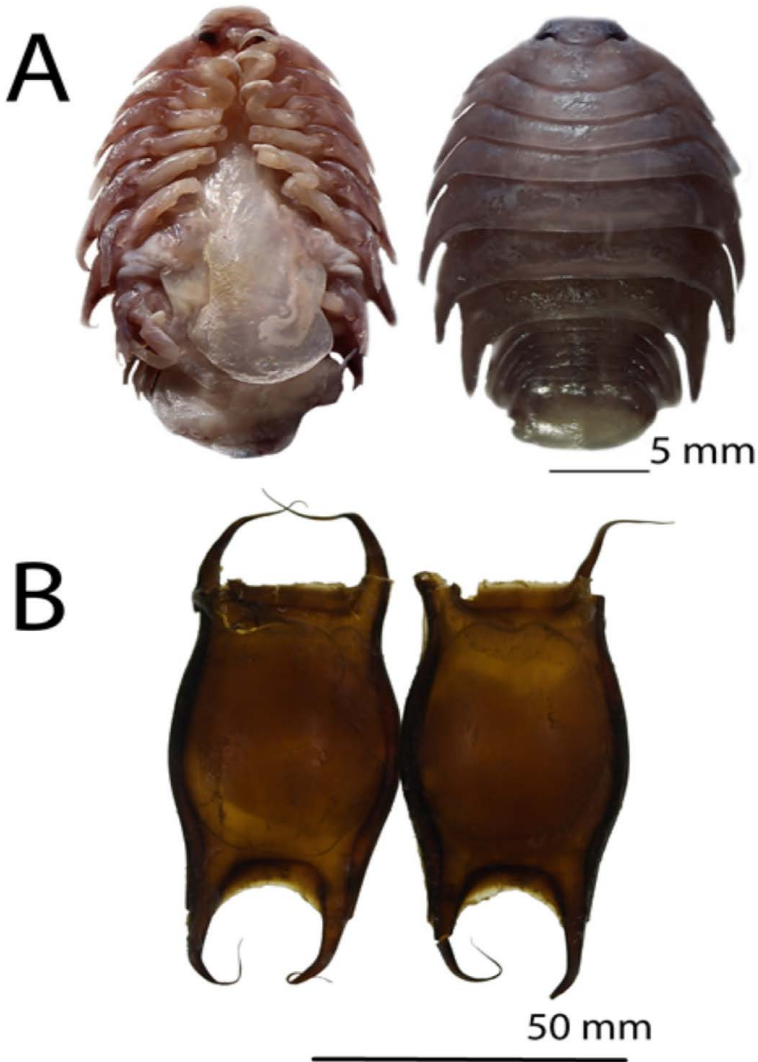


Fig. 3. Ejemplar hembra de *Nerocila acuminata* (A) asociados a las cápsulas ovíferas de *Rostroraja texana* (B)

Fig. 3. Female specimen of *Nerocila acuminata* (A), associated with *Rostroraja texana* ovigerous capsules (B)

especies válidas de peces hospederos, que incluye algunas no identificadas, pertenecientes a 32 familias, 18 órdenes y dos clases (Cuadro 1), tanto para *N. acuminata* y *N. californica*. Esta

última especie de isópodo presentó 46 especies de hospederos, se destacan los asociados con la familia Sciaenidae (9 especies) y Serranidae (7).

Cuadro 1. Hospederos conocidos de *Nerocila acuminata* y *N. californica*. La clasificación del grupo íctico sigue la propuesta de van der Laan *et al.* (2019). Las especies de peces de cada familia se ordenaron de manera alfabética Table 1. Known hosts of *Nerocila acuminata* and *N. californica* isopods. The classification of the fish group follows the one proposed by van der Laan *et al.* (2019). The fish species of each family were arranged alphabetically

ORDEN/ FAMILIA/ Especie	<i>N. acuminata</i>	<i>N. californica</i>	País	Referencia
CLASE ELASMOBRANCHII				
ORDEN HETERODONTIFORMES				
FAMILIA HETERODONTIDAE				
<i>Heterodontus francisci</i> (Girard 1855)		X	California, E.E. UU.	Rhichardson 1905; Brusca 1978, 1981
ORDEN CARCHARHINIFORMES				
FAMILIA TRIAKIDAE				
<i>Triakis semifasciata</i> Girard 1855		X		Rhichardson 1905; Brusca 1978, 1981; Trilles 1991
ORDEN RHINOPRISTIFORMES				
FAMILIA RHINOBATIDAE				
<i>Pseudobatos glaucostigma</i> (Jordan & Gilbert 1883)		X	Sinaloa, México	Carrillo-Colín <i>et al.</i> 2016
FAMILIA PRISTIDAE				
<i>Pristis</i> sp.		X	Florida, EE. UU.	Kensley & Shotte, 1989
ORDEN RAJIFORMES				
FAMILIA RAJIDAE				
<i>Rostroraja texana</i> (Chandler 1921)		X	Veracruz, México	Presente trabajo
ORDEN MYLIOBATIFORMES				
FAMILIA MYLIOBATIDAE				

<i>Myliobatis</i> sp.	X		Rhichardson 1905; Brusca 1978, 1981; Trilles 1991
CLASE ACTINOPTERI			
ORDEN LEPISTOSTEIFORMES			
FAMILIA LEPISTOSTEIDAE			
<i>Atractosteus spatula</i> (Lacepède 1803)	X	Louisiana, EE. UU.	Kensley & Shotte, 1989
<i>Lepistosteus osseus</i> (Linnaeus 1758)	X		Hutton 1964; Trilles 1991
ORDEN CLUPEIFORMES			
FAMILIA ENGRAULIDAE			
<i>Anchoa</i> sp.		Sonora, México	Brusca 1981
<i>Anchoa mitchilli</i> (Valenciennes 1848)	X		Segal 1987; Trilles 1991
<i>Cetengraulis mysticetus</i> (Günther 1867)	X	Golfo de California, México	Brusca 1978, 1981, 1985; Trilles 1991
ORDEN SILURIFORMES			
FAMILIA ARIIDAE			
<i>Ariopsis felis</i> (Linnaeus 1766)	X	Texas, EE. UU.	Kensley & Shotte, 1989; 1942; Trilles 1991
<i>Bagre marinus</i> (Mitchill, 1815)	X	Texas, EE. UU.	Pearse 1952, Trilles 1991
Pez gato	X		Brusca 1981
ORDEN BATRACHOIDIFORMES			
FAMILIA BATRACHOIDIDAE			
<i>Batrachoides surinamensis</i> (Bloch & Schneider 1801)	X	Colón, Panamá,	Kensley & Shotte, 1989
ORDEN SCOMBRIFORMES			
FAMILIA STROMATEIDAE			

<i>Peprilus paru</i> (Linnaeus, 1758)				Trilles 1991
FAMILIA SCOMBRIDAE				
<i>Euthynnus lineatus</i> Kishinouye 1920		X	El Salvador	Brusca 1981
<i>Scomber japonicus</i> Houttuyn 1782		X	Panamá	Brusca 1981
ORDEN ISTIOPHORIFORMES				
FAMILIA ISTIOPHORIDAE				
<i>Istiophorus platypterus</i> (Shaw 1792)		X	Sinaloa, México	Brusca 1981; Trilles 1991
<i>Kajikia audax</i> (Philippi 1887)		X	Pacífico: no se menciona	Brusca 1978, 1981, 1985
ORDEN PLEURONECTIFORMES				
FAMILIA PARALICHTHYDAE				
<i>Citharichthys gilberti</i> Jenkins & Evermann 1889		X	Sinaloa, México	Alvarez-Leon 1981
<i>Eitropus microstomus</i> (Gill, 1864)		X		Trilles 1991
<i>Scyacium</i> sp.		X		Trilles 1991
<i>Syacium ovale</i> (Günther 1864)		X	Golfo de California, México	Brusca 1978, 1981, 1985; Trilles 1991
ORDEN ATHERINIFORMES				
FAMILIA ATHERINOPSIDAE				
<i>Atherinops affinis</i> (Ayres 1860)		X	California, EE. UU.	Brusca 1978, 1981; Trilles 1991
<i>Atherinopsis californiensis</i> Girard 1854		X		Brusca 1981; Trilles 1991
<i>Leuresthes sardina</i> (Jenkins & Evermann 1889)		X	Sonora, México	Brusca 1981
<i>Leuresthes tenuis</i> (Ayres 1860)		X	California, EE. UU.	Brusca 1981

<i>Menidia beryllina</i> (Cope 1867)	X			Trilles 1991
ORDEN CYPRINOONTIFORMES				
FAMILIA FUNDULIDAE				
<i>Fundulus majalis</i> (Walbaum 1792)	X			Trilles 1991
<i>Fundulus similis</i> (Baird & Girard 1853)	X			Trilles 1991
FAMILIA CYPRINODONTIDAE				
<i>Cyprinodon variegatus</i> Lacepède 1803	X			Trilles 1991
ORDEN MUGILIFORMES				
FAMILIA MUGILIDAE				
<i>Mugil cephalus</i> Linnaeus 1758	X	X	Texas, EE. UU.	Pearse 1952; Kensley & Shotte 1989; Trilles 1991
ORDEN ACANTHURIFORMES				
FAMILIA EPHIPPIDAE				
<i>Chaetodipterus faber</i> (Broussonet 1782)	X		Golfo de California, México	Brusca 1978, 1981, 1985; Trilles 1991
ORDEN TETRAODONTIFORMES				
FAMILIA DIODONTIDAE				
<i>Chilomycterus schoepfii</i> (Walbaum 1792)	X		Florida, Virginia, EE. UU.	Rhichardson 1905; Kensley & Shotte 1989; Trilles 1991
<i>Diodon holocanthus</i> Linnaeus 1758			Texas, EE. UU.	Kensley & Shotte, 1989
FAMILIA TETRAODONTIDAE		X	Galápagos, Ecuador	Williams y Bunkley-Williams 2003
<i>Sphoeroides annulatus</i> (Jenyns 1842)		X	Golfo de California, México	Brusca 1978, 1981; Trilles 1991

<i>Spherooides maculatus</i> (Bloch & Schneider 1801)	X	New York, EE. UU.	Rhichardson 1905; Kensley & Shotte, 1989; Trilles 1991
FAMILIA MONACANTHIDAE			
<i>Aluterus schoepffi</i> (Walbaum 1792)	X	Texas, EE. UU.	Rhichardson 1905; Kensley & Shotte, 1989; Trilles 1991
<i>Monacanthus ciliatus</i> (Mitchill 1818)	X	Florida, EE. UU.	Kensley & Shotte 1989
ORDEN ACROPOMATIFORMES			
FAMILIA POLYPRIONIDAE			
<i>Stereolepis gigas</i> Ayres 1859	X	Baja California Sur, México	Brusca 1978, 1981; Trilles 1991
ORDEN PERCIFORMES			
FAMILIA MORONIDAE			
<i>Morone saxatilis</i> (Walbaum 1792).	X	California, introducida	Brusca 1981
FAMILIA SERRANIDAE			
<i>Diplcterum bivittatum</i> (Valenciennes, 1828)	X	Texas, EE. UU.	Pearse 1952
<i>Epinephelus itajara</i> (Lichtenstein 1822)	X	Texas, EE. UU.	Pearse, 1952; Kensley & Shotte 1989
<i>Epinephelus quinquefasciatus</i> (Bocourt 1868)	X		Rhichardson 1905; Brusca 1978, 1981
<i>Mycteroperca rosacea</i> (Streets 1877)	X	Baja California Sur	Brusca 1981
<i>Mycteroperca xenarcha</i> Jordan 1888	X		Brusca 1978, 1981, 1985; Trilles 1991

<i>Paralabrax clathratus</i> (Girard 1854)		X	San Diego, California	Rhichardson 1905; Brusca 1978, 1981; Trilles 1991 Trilles 1991
<i>Paranthias furcifer</i> (Valenciennes 1828)	X			
FAMILIA CARANGIDAE				
<i>Caranx</i> sp.		X	Hawaii	Brusca 1981
<i>Oligoplites altus</i> (Günther 1868)		X	Golfo de California	Brusca 1975, 1978, 1981, 1985; Trilles 1991 Trilles 1991
<i>Trachinotus carolinus</i> (Linnaeus 1766)	X			
FAMILIA LUTJANIDAE				
Pargo		X	Golfo de Nicoya, Costa Rica	Brusca 1981
FAMILIA HAEMULIDAE				
<i>Orthopristis reddingi</i> Jordan & Richardson 1895		X	Golfo de California	Brusca 1981
FAMILIA SPARIDAE				
<i>Lagodon rhomboides</i> (Linnaeus, 1766)	X			Segal 1987; Trilles 1991
FAMILIA SCIAENIDAE				
<i>Cynoscion othonopterus</i> Jordan & Gilbert 1882		X	Florida, EE. UU.	Brusca 1981
<i>Leiostomus xanthurus</i> Lacepède 1802	X		Florida, EE. UU.	Kensley & Shotte 1989
<i>Menticirrhus nasus</i> (Günther 1868)		X	Baja California Sur, México	Brusca 1981, 1985
<i>Microgogonias altipinnis</i> (Günther 1864)		X	Golfo de California	Brusca 1981,

<i>Pogonias cromis</i> (Linnaeus 1766)	X		Golfo de Mexico: Texas	Kensley & Shotte 1989
<i>Sciaenops ocellatus</i> (Linnaeus 1766)	X			Garcés 1993
<i>Stellifer ericymba</i> (Jordan & Gilbert 1882)		X	Pacífico: Honduras	Salgado <i>et al.</i> 2015
<i>Totoaba macdonaldi</i> (Gilbert 1890)		X	Golfo de California	Brusca 1978, 1981; Trilles 1991
<i>Umbrina roncadorensis</i> Jordan & Gilbert 1882		X	San Diego, California	Brusca 1978, 1981; Trilles 1991
FAMILIA POMACENTRIDAE				
<i>Stegastes beebei</i> (Nichols 1924)		X	Galápagos	Williams & Bunkley-Williams 2003
FAMILIA EMBIOTOCIDAE				
<i>Amphisitichus argenteus</i> Agassiz 1854		X		Valentine & Phelps, 1977; Brusca 1981
<i>Cymatogaster aggregata</i> Gibbons 1854		X	Newport Bay, California	Brusca 1981
<i>Embiotoca jacksoni</i> Agassiz 1853		X	California, EE. UU.	Brusca 1978, 1981; Trilles 1991
<i>Micrometrus minimus</i> (Gibbons 1854)		X		Brusca 1978, 1981; Trilles 1991
<i>Phanerodon furcatus</i> Girard 1854		X	California, EE. UU.	Brusca 1981
FAMILIA LABRIDAE				
<i>Lachnolaimus maximus</i> (Walbaum 1792)		X		Rhichardson 1905; Trilles 1991

DISCUSIÓN

En el Atlántico occidental existen reportes de isópodos que parasitan a elasmobranquios (Bird, 1978; Shipley *et al.* 2017). Aunque la mayoría son ectoparásitos, se ha reportado al isópodo carroñero *Cirolana* sp., en la cavidad corporal del tiburón cabeza de pala *Sphyrna tiburo*, en la costa de Miramar, La Habana, Cuba (Ortiz *et al.* 2018). También, se han detectado cimotoideos que parasitan elasmobranquios en aguas continentales; en la cuenca del Orinoco venezolano se registró a *Braga cigarra* y *Exocorallana delaneyi* en rayas del género *Potamotrygon* (Lasso *et al.* 2018). Mientras, en la región suroeste del golfo de México, cercana al área del presente registro, se describió *Anilocra elviae*, un ectoparásito del tiburón *Isurus oxyrinchus* (Winfield *et al.* 2002).

A pesar de los registros señalados anteriormente, estos suelen ser aislados, por lo que resulta raro el parasitismo de cimotoideos con los elasmobranquios. Es posible que dicha asociación se deba a la unión temporal de crías o de ejemplares que han escapado de su hospedero cuando son apresados dentro de las capturas comerciales (Brusca, 1981), como pudo suceder con el registro de *N. californica* en ejemplares de *Pseudobatos glaucostigma*, obtenidos de la pesca de arrastre de camarón en el sureste del golfo de California (Carrillo-Colín

et al. 2016). Además, algunas especies como *N. acuminata* tienen la capacidad de cambiar de hospedero (Williams *et al.* 1982).

Las escamas placoideas presentes en la mayoría de los elasmobranchios les brindan protección en contra de agentes externos, mediante un endurecimiento de la pared corporal, lo que impide la penetración de las piezas bucales de algunas especies de Cymthoidae (Brusca, 1981). En cambio, son más susceptibles al parasitismo por parte de copépodos y monogéneos, los cuales se adhieren en una región corporal determinada (Caira *et al.* 2012), lo que ocasiona incluso lesiones cutáneas crónicas que afectan la salud de los tiburones (Bullard *et al.* 2000).

Por otro lado, en las etapas juveniles de elasmobranchios, inclusive las cápsulas ovígeras y aquellas especies que carecen de dentículos, son susceptibles a ser parasitados por isópodos cimotoideos, los cuales suelen alimentarse de sangre y fluidos internos. En el caso de *N. acuminata*, se ha comprobado de manera experimental que no muestra especificidad con un hospedero y que suele atacarlos desde el fondo o a media agua (Segal, 1987). Al contrastar la diversidad de hospederos, existe un predominio de peces Actinopterygios, 26 especies asociadas con *N. acuminata* y 41 para *N. californica*. La mayoría de este grupo de peces pertenecen a familias de hábitos demersales, como Sciaenidae y

Serranidae. De manera general, estos isópodos aparentan tener preferencia por los peces óseos (Trilles & Öktener, 2004; Williams *et al.* 2010).

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto PAPIIT-UNAM IA207820 por el financiamiento proporcionado, así como al SIN-CO-NACYT. Extendemos nuestro agradecimiento a la corporativa pesquera “Roca” y a todo su personal, en especial a Constantino Pio Campos “Titán” quienes facilitaron el soporte técnico durante el trabajo de campo, así como las fotografías del arte de pesca. A los revisores anónimos que ayudaron a mejorar la presente contribución.

REFERENCIAS

- Álvarez-León, R. (1981). El isópodo *Nerocila californica*, simbiote de *Cyrtarichthys gilberti* (Bothidae) en el sistema lagunar de Huizache-Caimanero, Sinaloa, México. *Rev. Biol. Trop.*, 29(1), 39-44.
- Benz, G. W. & Bullard, S. A. (2004). Metazoan parasites and associates of chondrichthyans with emphasis on taxa harmful to captive hosts. En M. Smith & D. Warmolts, D. Thoney (Eds.), *Elasmobranch husbandry manual: captive care of shark, rays and their relatives* (pp. 325-416). EE. UU.: Ohio Biological surveys.
- Bird, P. M. (1978). The occurrence of *Cirolana biorealis* (Isopoda) in the hearts of sharks from Atlantic Coastal waters of Florida. *Fish Bull.*, 79(2), 376-383.

- Boyko, C. B., Bruce, N. L., Hadfield, K. A., Merrin, K. L., Ota, Y., Poore, G. C. B. & Wilson, G. D. F. (2020). World Marine, Freshwater and Terrestrial Isopod Crustaceans database. <http://www.marinespecies.org/isopoda>
- Brusca, R. C. (1978). Studies on the cymothoid fish symbionts of the eastern Pacific (Isopoda: Cymothoidae) I. Biology of *Nerocila californica*. *Crustaceana*, 34(2), 141-154.
- Brusca, R. C. (1981). A monograph on the Isopoda Cymothoidae (Crustacea) of the eastern Pacific. *Zool. J. Linn. Soc.*, 73, 117-199.
- Brusca, R. C. & Iverson, E. W. (1985). A guide to the Marine Isopod Crustacea of Pacific Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 33(1), 1-77.
- Bullard, S. A., Frasca, S. & Benz G. W. (2000). Skin lesions caused by *Dermophthirius penneri* (Monogenea: Microbothriidae) on wild-caught blacktip Sharks (*Carcharhinus limbatus*). *J. Parasitol.*, 86(3), 618-622.
- Bunkley-Williams, L. & Williams, E. H. Jr. (1999). *Nerocila benrosei* n. sp. (Isopoda: Cymothoidae), an external parasite of hogfishes from the norther Bahamas. *J. Parasitol.*, 85(6), 1036-1040.
- Caira, J. M. & Healy, C. J. (2004). Elasmobranchs as hosts of metazoan parasites in biology of sharks and their relatives. In: J. C. Carrier, J. A. Musick & M. R. Heithaus (Eds), *Biology of sharks and their relatives* (523-551). 1st Edition. EE. UU. CRC Press.
- Caira, J. M., Healy, C. J. & Jensen, K. (2012). An updated look at elasmobranchs as Hosts of metazoan parasites. In J. C. Carrier, J. A. Musick & M. R. Heithaus (Eds.), *Biology of sharks and their relatives* (546-557). 2nd Edition. EE. UU.: CRC Press.
- Carrillo-Colín, D. L., Lara-Mendoza, R. E. & Márquez-Farías, J. (2016). *Nerocila acuminata* (Crustacea: Isopoda: Cymothoidae), ectoparásito de la guitarra pinta *Pseudobatos glaucostigma* (Elasmobranchii) del sureste del Golfo de California, México. *Cien. Pesq.*, 24, 139-143.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N. & van der Laan, R. (2020). Eshmeyer's catalog of fishes: genera, species, references. Recuperado en noviembre 8, 2020, disponible en <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>
- Garcés, H. A. (1993). Primer informe en Panamá de *Nerocila californica* Schioedte y Meinert 1881 (Isopoda: Cymothoidea) en *Sciaenops ocellatus* (L) (Pisces: Sciaenidae). *Rev. Med. Panama*, 18(1), 70-73.
- Hutton, R. F. (1964). A second list of parasites from marine and costal animals of Florida. *Trans. Am. Microsc. Soc.*, 83(4), 439-447.
- Kensley, B. & Schotte, M. (1989). *Marine isopod crustaceans of the Caribbean*. EE. UU.: Smithsonian Institution Press.
- Lasso, C. A., Campos, M. R., Morales-Betancourt, M. A. & Castro, D. (2018). Ectoparásitos (Argulidae, Cymothoidae, Corallanidae) en rayas de agua dulce (Potamotrygonidae) de la Orinoquia colombiana. *Biota Colomb.*, 19 (Supl. 1), 84-94.
- McEachran, D. J. & Fechhelm, D. J. (1998). *Fishes of the Gulf of Mexico. Volumen 1: Myxiniiformes to Gasterosteiformes*. EE. UU.: University of Texas Press.
- Moreira, P. S. & Sadowsky, V. (1978). An annotated bibliography of parasitic Isopoda (Crustacea) of Chondrichthyes. *Bol. Inst. Oceanogr. Sao Paulo*, 27(2), 95-152.

- Ortiz, M., Lalana, R. & Torres, O. (2018). Primer registro de un isópodo carroñero del género *Cirolana* Leach, 1818 (Crustacea, Isopoda) colectado de la cavidad corporal de *Sphyrna tiburo* (Elasmobranchii, Sphyrnidae), en Cuba. *Rev. Inv.Mar.*, 38(1), 45-50.
- Pearse, A. S. (1952). Parasitic Crustacea from the Texas Coast. *Publs. Inst. Mar. Sci. Univ. Tex.*, 2(2), 6-42.
- Salgado, A. I., Mérida, J. E. & Cruz, G. A. (2015). Los isópodos *Cymothoa exigua* y *Nerocila acuminata* (Isopoda: Cymothoidae), ectoparásitos de *Parapsettus panamensis* (Ephippidae), *Chloroscombrus orqueta* (Carangidae) y *Stellifer ericymba* (Sciaenidae) del Pacífico de Honduras. *Cuad. Inv. UNED*, 7(2), 301-304.
- Segal, E. (1987). Behavior of juvenile *Nerocila acuminata* (Isopoda, Cymothoidae) during attack, attachment and feeding on fish prey. *Bull. Mar. Sci.*, 41(2), 351-360.
- Shiple, O., Talwar, B., Grubbs, D. & Brooks, E. (2017). Isopods present on deep-water sharks *Squalus cubensis* and *Heptranchias perlo* from The Bahamas. *Mar. Biodivers.*, 47(3), 789-790.
- Smit, N. J., Bruce, N. L. & Hadfield, K. A. (2014). Global diversity of fish parasitic isopod of the family Cymothoidae. *Int. J. Parasitol. Parasites Wildl.*, 3(2), 188-197.
- Trilles, J. P. (1991). Les Cymothoidae (Crustacea, Isopoda) du monde. Prodrôme pour une faune. *Stud. Mar.*, 21-22(1-2), 5-288.
- Trilles, J. P. & Öktener, A. (2004). *Livoneca sinuate* (Crustacea; Isopoda, Cymothoidae) on *Loligo vulgari* from Turkey, an unusual cymothoid association. *Dis. Aquat. Org.*, 61(3), 235-240.
- Trilles, J. P., Rameshkumar, G. & Rachichandran, S. (2013). *Nerocila* species (Crustacea, Isopoda, Cymothoidae) from Indian marine fishes. *Parasitol. Res.*, 112(3), 1273-1286.
- Valentine, D. W. & Phelps, R. (1977). Parasitism of barred surperch, *Amphistichus argenteus*, by *Nerocila californica*: a fit to the poisson. *Cal. Fish Game*, 63(2), 129-132.
- van der Laan, R., Fricke, R. & Eschmeyer, W. N. (2019). Eschmeyer' catalog of fishes: clasification. <http://www.calacademy.org/scientists/catalog-of-fishes-classification/>
- Williams, E. H. & Bunkley-Williams, L. (2003). New records of fish-parasitic isopods (Cymothoidae) in the Eastern Pacific (Galápagos and Costa Rica). *Noticias de Galápagos*, 62, 21-23.
- Williams, E. H., Bunkley-Williams, L. & Ebert, D. E. (2010). An accidental attachment of *Eltusa raynaudii* (Isopoda, Cymohoidae) in *Etmopterus* sp. (Squaliformes Etmopteridae). *Acta Parasitol.*, 55(1), 99-101.
- Williams E. H., Jr., Bunkley-Williams L., Waldner, R. E. & Kimmel, J. J. (1982). Predisposition of a pomacentrid fish, *Chromis multilineatus* (Guichenot) to parasitism by a cymothoid isopod, *Anilocra chromis* Williams and Williams. *J. Parasitol.*, 68(5), 942-945.
- Winfield, I., Alvarez, F. & Ortiz M. (2002). A new species of *Anilocra* (Crustacea: Isopoda: Cymothoidae), ectoparasite on the mako sharks *Isurus oxyrinchus*. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 115(1), 148-152.

Batimetría derivada por satélite (sdb): una aproximación a la cartografía batimétrica con imágenes multiespectrales en aguas poco profundas de Bahía Solano, Colombia

Satellite-derived bathymetry (SDB): an approach to bathymetric cartography with multispectral images in shallow waters of Bahía Solano, Colombia

Mauricio Alejandro Perea-Ardila¹ y Fernando Oviedo-Barrero¹*

RESUMEN

La medición de las profundidades del océano juega un rol fundamental en la planificación y la gestión de recursos marinos y la navegación segura de embarcaciones. La Batimetría Derivada por Satélite (SDB) se presenta como una técnica complementaria para determinar las profundidades en aguas costeras a través de técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG). El objetivo de este estudio fue determinar la aplicabilidad de la SDB en aguas poco profundas en el sector de “Punta Luna” en bahía Solano, al norte del litoral Pacífico colombiano que utiliza imágenes del satélite Landsat 8 de enero del 2017 y datos batimétricos *in situ* de noviembre del 2016. El principal resultado obtenido en este estudio fue la estimación de profundidades de hasta ± 7 m con un $R^2 = 0.80$, se obtuvo un error RMSE y MAE de 1.49 y 2.22 m respectivamente; las profundidades estimadas por la SDB cumplen en un 51.17% la medida de Incertidumbre Vertical Total (TVU) para la categoría del Orden Especial, referente al estándar de levantamientos hidrográficos de la Organización Hidrográfica Internacional (IOH). Los resultados obtenidos servirán como caso práctico para obtener profundidades mediante imágenes multiespectrales y denotan un referente para los servicios hidrográficos y académicos interesados en temas de investigación marina y costera de la región.

Palabras Clave: Batimetría, Landsat 8, Pacífico colombiano, satélite, SIG

ABSTRACT

Ocean depth measurement plays a fundamental role to plan and manage marine resources and safe boat navigation. Satellite-Derived Bathymetry (SDB) is presented as a complementary technique to determine coastal water depth through remote sensing tools and Geographic

1 Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico – CCCP. Área de Manejo Integrado de Zona Costera. Capitanía de puerto de Tumaco. Tumaco, Colombia. mperea@dimar.mil.co, mapereaa@ut.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4561-0251>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5559-1504>

Information Systems (GIS). The goal of this study was to determine the applicability of the SDB method in shallow waters in the Punta Luna sector in Bahía Solano, northern Colombian Pacific coast, using Landsat 8 satellite images from January 2017 and in situ bathymetric survey data from November 2016. The main result obtained in this study was a depth estimate of up to ± 7 m with $R^2 = 0.80$, as well as an RMSE and an MAE equivalent to 1.49 and 2.22 m, respectively. Depth estimates obtained using SDB meet 51.17% of the Total Vertical Uncertainty (TVU) for the Special Order category, regarding the Standards for Hydrographic Surveys from the International Hydrographic Organization (IHO). Results obtained will serve as a reference to calculate depth using multispectral images and a benchmark for hydrographic officials and academics interested in coastal and marine research in the region.

Keywords: Bathymetry, Colombian Pacific, Landsat 8, Satellite, GIS

INTRODUCCIÓN

Estimar la batimetría del océano juega un rol importante en actividades marítimas y costeras, como la pesca, la gestión portuaria, el tendido de tuberías, la acuicultura entre otras ; también, es de suma importancia para la realización de cartas hidrográficas empleadas en la navegación de embarcaciones y para estudiar los cambios presentados en el fondo marino (Pushparaj & Hegde, 2016). Los métodos tradicionales para la medición del fondo del mar suponen el uso de técnicas acústicas donde buques hidrográficos albergan dispositivos tecnológicos conocidos como ecosondas, estas pueden ser del tipo monohaz (Single-Beam Echo Sounder) o multihaz (Multi-Beam Echo Sounders), las cuales a partir de pulsos (sonar) capturan datos del fondo marino y estos son registrados e interpretados por medio de programas informáticos especializados. Este método tradicional determina la profundidad y la topografía

del lecho marino (Pushparaj & Hegde, 2016; Ashphaq, 2018). Aunque, esta técnica permite obtener de forma precisa de los perfiles de profundidad a una escala muy detallada, el método está restringido en aguas poco profundas, además, de tener un elevado costo operativo (Gao, 2009).

Batimetría Derivada por Satélite - SDB

Desde la década de 1970 se realizaron gradualmente los primeros avances en estudios de aplicación de los sensores remotos ópticos para la estimación de la profundidad en aguas costeras (Deng *et al.* 2008); trabajos pioneros como los de (Polcyn *et al.* 1970; Lyzenga, 1978; Warne, 1978; Lyzenga, 1985; Philpot, 1989; Ibrahim & Cracknell, 1990) demostraron en gran medida atención por el uso de estas tecnologías en la aproximación de métodos para la estimación de la profundidad y su aplicación en varios campos de la ciencia.

La Batimetría Derivada por Satélite (SDB, por sus siglas en inglés) se presenta como una alternativa para la estimación de las profundidades en aguas costeras debido al potencial de los sensores remotos ópticos en capturar información de grandes extensiones de forma continua; en este contexto, la SDB permite caracterizar y monitorear en el tiempo, los cambios ocurridos en el fondo marino (Jagalingam *et al.* 2015; IHO-IOC, 2019). El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las técnicas de Teledetección se han vuelto de uso frecuente debido a la eficiencia y rentabilidad que representan para cartografiar batimetría en amplias zonas costeras (Gao, 2009; Putri *et al.* 2018); así mismo, la SDB representa un método novedoso que revoluciona el campo de la topografía hidrográfica.

La batimetría óptica está respaldada por el principio de que la cantidad total de energía radiativa reflejada a partir de una columna de agua está en función de la profundidad, el espectro de la banda azul y verde tienen gran capacidad de penetración del agua (Gao, 2009). Uno de los modelos más utilizados en el ámbito de la SDB es el desarrollado por (Stumpf *et al.* 2003); este método resalta una solución empírica mediante una relación matemática de reflectancia, el algoritmo establece la correspondencia lineal entre la reflectancia de dos bandas (azul y verde); a medida que aumenta la profundidad del agua, los

valores de reflectancia de la banda con mayor absorción disminuirán proporcionalmente más rápido que el valor de reflectancia de la banda con menor absorción (Jagalingam *et al.* 2015).

Las imágenes Landsat, principalmente, han aportado en gran medida al desarrollo de este método, tanto así, que organizaciones internacionales como La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) utilizan esta técnica para la actualización de cartas de navegación y como herramienta de reconocimiento para misiones hidrográficas (Rocchio, 2016), del mismo modo, la Organización Hidrográfica Internacional (IHO) recomienda el uso de la SDB como técnica complementaria para la estimación de profundidades e incluye el método en manuales de temas hidrográficos (IHO-IOC, 2019).

Aplicaciones en el nivel mundial y regional

La SDB se ha utilizado en diferentes lugares en el nivel mundial, por ejemplo (Benny & Dawson, 1983) utilizaron imágenes de Landsat 3 MSS y datos *in situ* para determinar líneas de contorno de profundidad en una región al extremo norte del mar Rojo en Egipto; de igual manera, (Ibrahim & Cracknell, 1990) utilizaron imágenes ópticas del sensor Landsat 3 MSS, determinaron la profundidad en las aguas costeras de la isla de Penang en Malasia; otro ejemplo, es la SDB realizada en la costa norte de Cape Ann, Massachusetts (EE. UU.),

también en la región de Escravos que incluye la zona costera al suroeste del delta del río Níger (Nigeria) y el área de Big Creek ubicada en la costa sureste de Belice (Pe'eri *et al.* 2014); otro caso, corresponde a (Jagalingam *et al.* 2015) que utilizaron imágenes Landsat para cartografiar de la batimetría en la costa suroeste de la India; del mismo modo, (Deng *et al.* 2008) emplearon imágenes multiespectrales de diferentes sensores remotos ópticos y datos de batimetría *in situ* para determinar la profundidad en el estuario de Beilun en China; otro ejemplo, es el de (Putri *et al.* 2018) donde utilizaron imágenes multiespectrales y datos de batimetría *in situ* al derivar la SDB en la zona costera de Bangsring en Indonesia; (Kimeli *et al.* 2018) determinaron la SDB del canal portuario de Mombasa en Kenia mediante cartas náuticas e imágenes Landsat; como último ejemplo, (Knudby *et al.* 2016) evaluaron la aplicabilidad de las imágenes Landsat en la determinación de la SDB en “Boundary bay” en límites entre Canadá y EE. UU. en el Pacífico norte.

En el nivel regional (Ariza & Ramírez, 2014) utilizaron imágenes Landsat 7 ETM+ y datos de campo para determinar un modelo batimétrico en el monitoreo de arrecifes de coral en el archipiélago de San Andrés islas, Caribe colombiano; de igual manera, en el año 2018 se presentó los avances de La Comisión Hidrográfica Mesoamericana y del mar Caribe (MACHC) frente al mapeo batimétrico a través de

sensores remotos ópticos en tres zonas, que incluyen a la Isla Grande en Cartagena Colombia (Goodrich, 2018); Estos referentes académicos denotan un antecedente en la aplicación de la SDB frente a los métodos tradicionales.

El principal objetivo de este estudio fue determinar la aplicabilidad de la SDB en aguas poco profundas en el sector conocido como “Punta Luna” en Bahía Solano, Colombia; este trabajo se presenta como un primer ejercicio en la zona y como una técnica complementaria que incorpora el procesamiento digital de imágenes de satélite, el manejo de datos batimétricos colectados *in situ*, la aplicación del modelo de Stumpf, la evaluación de la precisión en términos de ajuste del modelo SDB y la evaluación de la calidad de la SDB frente a estándares hidrográficos internacionales.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

Se localiza al noreste del casco urbano de Ciudad Mutis sobre el litoral Pacífico colombiano del municipio de Bahía Solano, sector conocido localmente como “Punta Luna”, en las coordenadas geográficas 6° 16' 18.93" y 6° 14' 51.724" N y los 77° 24' 20.26" y 77° 23' 10.968" W (Fig. 1), posee un área aproximada de 1.72 km² sobre el entorno marino. Esta zona se caracteriza por presentar

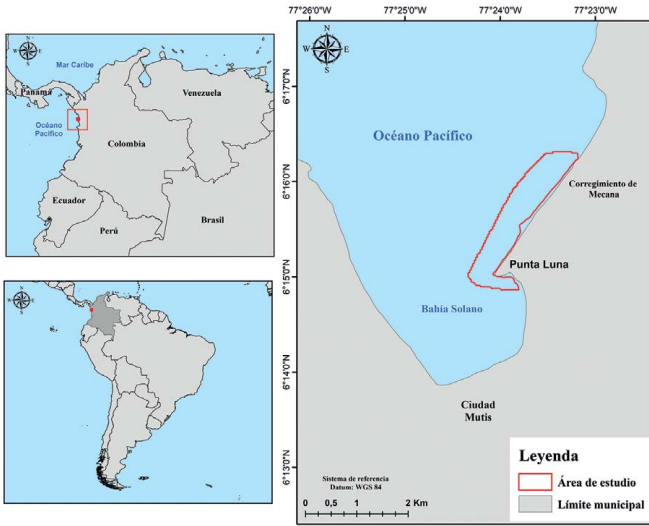


Fig. 1. Área de estudio. Sector “Punta Luna”, municipio de bahía Solano - Colombia

Fig. 1. Study area. Punta Luna sector, municipality of Bahía Solano - Colombia

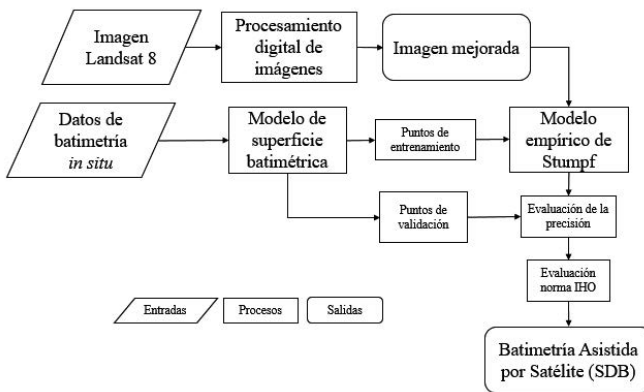


Fig. 2. Diagrama de flujo para la estimación de SDB

Fig. 2. Flowchart for SDB estimate

diferentes paisajes que incluye planicies marinas, también, una alta dinámica mareal, precipitación promedio anual de 5 000 mm y una

temperatura promedio anual de 26.3°C (Pierini & Rodríguez, 2014).

Dentro del proceso metodológico (Fig. 2) se incorpora un flujo de trabajo para la obtención de la SDB que involucra pasos que siguen la lógica del proceso según lo recomendado por (Gao, 2009); para el manejo y procesamiento de datos se utilizó el software Arcgis 10.6 (ESRI, 2018).

Imagen Landsat 8

Se utilizó una imagen multiespectral del satélite Landsat 8, sensor OLI (Operational Land Imager) del 23 de enero de 2017 con resolución espacial de 30 m en bandas utilizadas (Azul, Verde y NIR), fue obtenida del centro de descarga de imágenes Landsat del Servicio Geológico de los Estados Unidos, a través de la plataforma web <https://earthexplorer.usgs.gov/> (USGS, 2017) (Cuadro 1).

Según Tang & Mahmud, (2018) las bandas que generalmente se utilizan para el mapeo batimétrico están por el rango espectral de (0.45 - 0.52 μm) y

(0.53 - 0.59 μm) correspondiente a la longitud de onda de la banda azul y verde del Landsat 8.

Procesamiento digital de imágenes

Corrección atmosférica

Se realizó la conversión de los valores de radiancia de los números digitales (ND) a unidades físicas de reflectancia ToA (Top of Atmosphere); se utilizó, en particular, las bandas correspondientes al rango del azul y verde, se empleó los parámetros propuestos por (Ariza, 2013; USGS, 2018) (Ecuación 1); este paso previo se realizó con el fin de eliminar los efectos atmosféricos de los aerosoles y la radiancia intrínseca al momento de la captura de la imagen, paso previo como parte del mejoramiento de la calidad de las imágenes (Aguilar *et al.* 2015).

$$P_{\lambda} = \frac{(M_{\rho} * Q_{cal} + A_{\rho})}{\text{Sin}(\varnothing_{se})} \quad (1)$$

Donde:

P_{λ} = Reflectancia ToA

M_{ρ} = Factor multiplicativo de escalado

Q_{cal} = Valores de numero digitales (ND)

A_{ρ} = Factor aditivo de escalado

\varnothing_{se} = Ángulo de elevación solar

Ajuste del reflejo solar

Adicionalmente, se realizó la corrección de la reflexión especular de la

Cuadro 1. Características técnicas de las bandas Landsat 8

Table 1. Technical characteristics of Landsat 8 bands

Tipo	Landsat 8
ID Producto	LC80100562017023LGN01
Fecha de captura	23/01/2017
Columna/fila	010 - 056
Cobertura de nubes	34.29%
Ángulo solar	51.98°
Longitud de onda	Banda 2 - azul (0.45-0.51 μm)
	Banda 3 - verde (0.53-0.59 μm)
	Banda 4 - roja (0.64-0.67 μm)
	Banda 5 - NIR (0.85-0.88 μm)

superficie del agua, según lo propuesto por (Hedley *et al.* 2005) (ecuación 2); en este proceso se utilizó la banda infrarroja (NIR); el ajuste se realizó para eliminar el efecto del reflejo de luz solar que pueda afectar los valores de ND para la predicción de la SDB en zonas de aguas poco profundas.

$$R'_i = R_i - b_i(R_{NIR} - \text{Min}_{NIR}) \quad (2)$$

Donde:

R'_i = Corrección del reflejo solar

R_i = Valor del píxel de la banda (azul y verde)

b_i = Pendiente de regresión

$R_{NIR} - \text{Min}_{NIR}$ = diferencia entre el píxel NIR (Infrarrojo cercano)

Datos de batimetría *in situ*

El levantamiento batimétrico se efectuó en el mes noviembre del año 2016 en aguas poco profundas en la zona de estudio, fue realizado por la

Dirección General Marítima (Dimar) el método empleado fue el tradicional con el uso de una ecosonda monohaz (SBES) portátil de referencia HIDROTAC II (Fig. 3), instalada en una embarcación tipo lancha; del mismo modo, se utilizó receptores GNSS diferenciales los cuales siguieron una trayectoria de levantamiento.

Se obtuvo un total de 58 082 puntos XYZ, la profundidad registrada estuvo entre 0 ± 15 m; los datos se procesaron con apoyo del *software* CARIS HYPST™ versión 4.5 en oficina de

levantamientos hidrográficos del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico - CCCP; adicionalmente, se utilizó como referencia la carta náutica N.º 710 de la bahía interior de bahía Solano a escala 1:10.000, realizada por el Servicio Hidrográfico Nacional de Colombia (CIOH, 2017).

Modelo de superficie batimétrica

Con la información de la nube de puntos XYZ de la batimetría en *in situ*, se generó una superficie batimétrica tipo raster con tamaño de píxel de 30 m, el

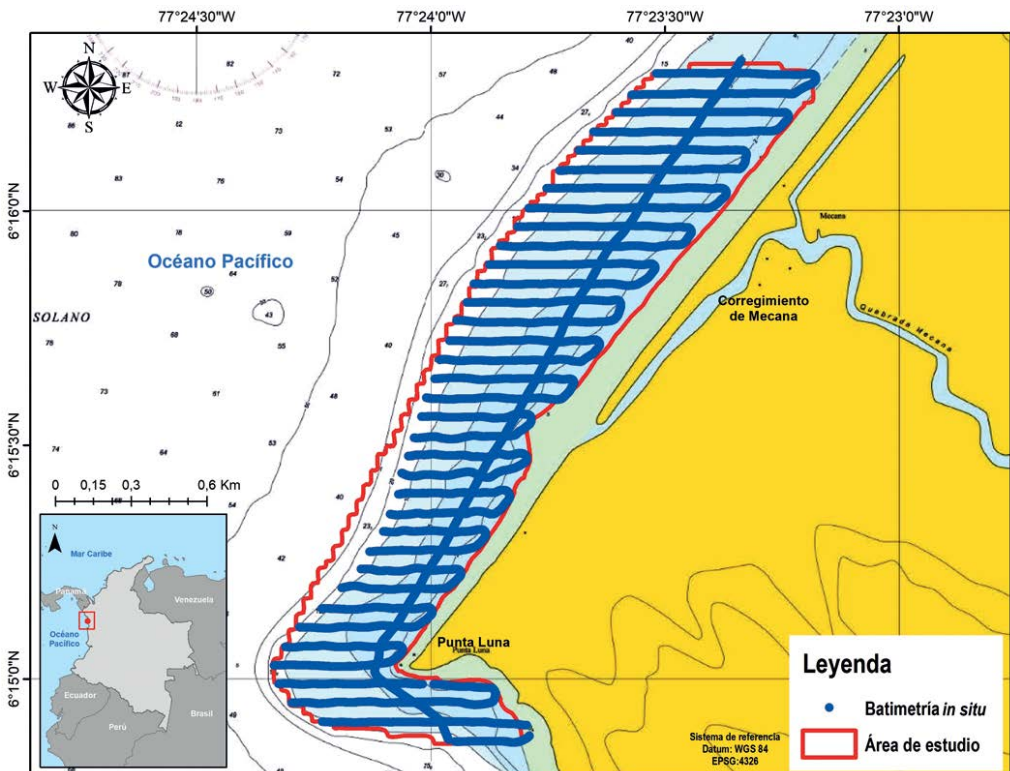


Fig. 3. Levantamiento batimétrico *in situ* con el método tradicional SBES

Fig 3. In situ bathymetric survey using the traditional SBES method

proceso se llevó a cabo con las herramientas de análisis 3D de Arcgis, adicionalmente, se seleccionó una muestra de 100 puntos aleatorios donde se extrajo la información de profundidades *in situ* para el ajuste inicial del modelo empírico, la muestra de profundidades se utilizó en el proceso de regresión lineal, aunque no se realizó un muestreo estadístico como tal, se procuró que los puntos fueran distribuidos homogéneamente y no saturaran los valores de regresión.

Estimación de la SDB - Modelo Empírico de Stumpf

Se aplicó el modelo empírico de (Stumpf *et al.* 2003), (Ecuación 3). Este algoritmo utiliza la transformación del cociente entre la banda azul y verde la cual determina la batimetría relativa del fondo marino; este procedimiento permite estimarla eficientemente en aguas poco profundas de zonas costeras (Jagalingam *et al.* 2015). Se determinó las variables m_1 y m_0 por medio de una regresión lineal con los puntos de profundidad ($n = 100$).

$$Z = m_1 \frac{\ln(n R_w(\lambda_i))}{\ln(n R_w(\lambda_j))} - m_0 \quad (3)$$

Donde:

Z = Valor derivado de la profundidad
 R_w = Reflectancia ToA observada de la banda azul i y verde j

m_1 = Constante para escalar la relación de la profundidad

m_0 = Desplazamiento de la profundidad

n = Valor constante

Evaluación de la precisión

Se crearon 100 puntos aleatorios distribuidos homogéneamente sobre la SDB para contar con el mismo número de puntos en el análisis de precisión, se extrajo el valor de profundidad sobre el resultado SDB, se procedió a realizar la comparación de las profundidades observadas (*in situ*) vs. las estimadas por el modelo (SDB); se determinó el Error Medio Cuadrático (RMSE), Error Medio Absoluto (MAE) y el coeficiente de determinación de ajuste (R^2) como parámetros estadísticos de evaluación, se utilizó las ecuaciones expuestas en (Tang & Mahmud, 2018) (Ecuación 4 y 5); según (Gao, 2009) estos parámetros de evaluación se utilizan como una medida de precisión de la SDB estimada con imágenes ópticas; se realizó un gráfico donde se comparó los valores observados vs. estimados; adicionalmente, se realizó un perfil de la sección central, que determina la incertidumbre del modelo SDB frente a la profundidad real y la distancia en metros aguas adentro.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^1 |Z_{SDB} - Z_{FB}| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^1 (Z_{SDB} - Z_{FB})^2} \quad (5)$$

Donde:

n = Número de puntos de la batimetría

Z_{SDB} = Valor de profundidad de la SDB ($n=100$)

Z_{FB} = Valor profundidad batimetría en *in situ* (n=100)

Evaluación estándar IHO S-44

Como parte de la evaluación de calidad de los datos derivados, se transformó la SDB raster a una malla de puntos XYZ, después, se calculó para ambas mallas la Incertidumbre Vertical Total (TVU) (Ecuación 6) del estándar de la Organización Hidrográfica Internacional (IHO) en la publicación N.º S-44 para levantamientos hidrográficos (OIH, 2008); este protocolo tiene por objeto calcular las incertidumbres que se presentan en la toma de datos de profundidad, la TVU define categorías denominadas “Órdenes” específicamente para detectar “rasgos”, referentes a objetos en el fondo marino sean naturales o no, que afecten la seguridad de la navegación, el estándar contempla una medida de incertidumbre con un nivel de confianza que corresponde al 95%.

$$\pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (6)$$

Donde:

a= Porción de la incertidumbre que no varía con la profundidad

b= Coeficiente que varía con la profundidad

d= Es la profundidad

RESULTADOS

Se obtuvo dos superficies batimétricas a resolución de 30 m para los

datos *in situ* y SDB, se encontró que el área de estudio morfológicamente presentó un fondo marino prolongado a través de terrazas marinas; de igual manera, la superficie SDB evidenció una profundidad promedio de 6.03 m, el valor mínimo de SDB correspondió a -5.53 m (Cuadro 2) este valor negativo correspondió a zonas con procesos de acreción.

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de superficies batimétricas

Table 2. Descriptive statistics of bathymetric surface

Parámetro	Superficie <i>in situ</i> (m)	SDB (m)
Mínimo	0.23	-5.53
Máximo	15	11.66
Promedio	6.29±3.97	6.03±2.82

En la visualización, se puede observar que la SDB asemeja en gran medida el comportamiento de la superficie derivada con datos *in situ* (Fig. 4); adicionalmente, se observó que la SDB presentó valores negativos sobre la línea de costa, además, de un valor de cero (0) correspondiente a la aparición de un rasgo sobre la parte central al noreste que no se visualiza en los datos *in situ*.

Evaluación del modelo empírico de Stumpf

Dentro de la comparación de las superficies batimétricas derivadas, se evidenció que la SDB obtuvo un promedio de profundidad de 6.30

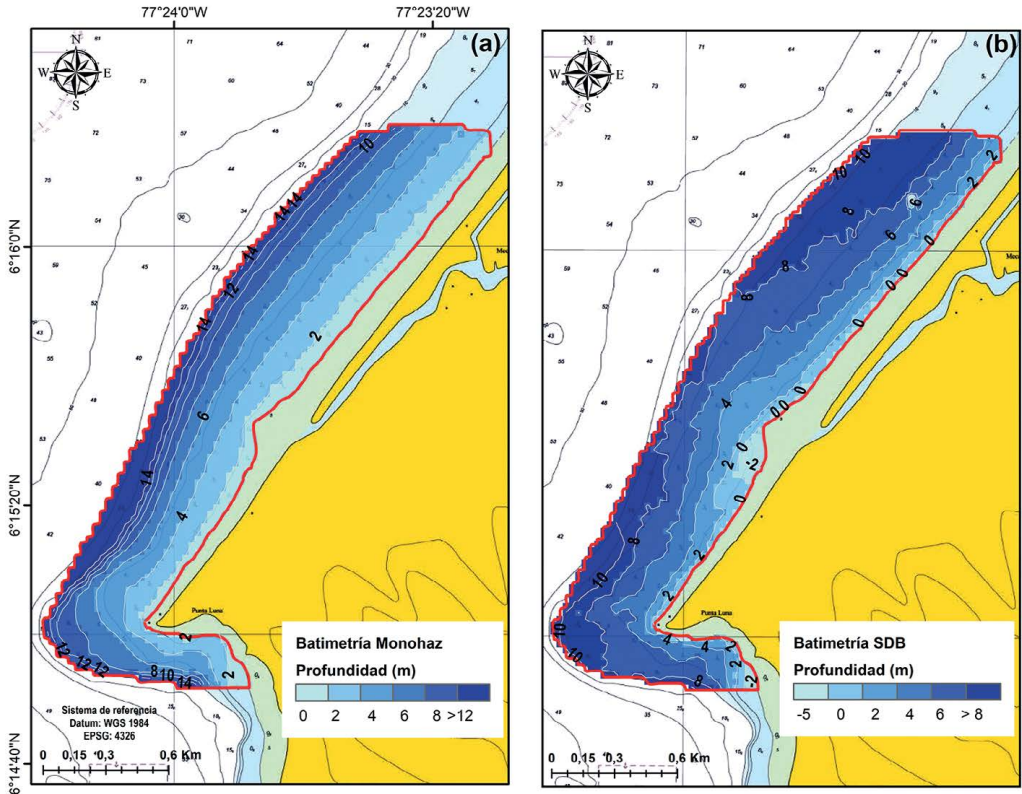


Fig. 4. (a) Modelo de superficie batimétrica; (b) Batimetría derivada por satélite (SDB)
Fig. 4. (a) Bathymetric Surface model, (b) Satellite-Derived Bathymetry (SDB)

m (Cuadro 3); la muestra de puntos (n=100) fue acorde y no presentó saturación en la regresión lineal que alcanza un R^2 de 0.71; el ajuste

del modelo determinó los parámetros de ajuste m_1 y m_0 ; el valor del RMSE y MAE fue de 1.49 y 2.22 m respectivamente.

Cuadro 3. Parámetros estadísticos para la evaluación de la precisión

Table 3. Statistics parameters for accuracy assessment

Parámetro	Batimetría in situ (m)	SDB (m)	Parámetros de ajuste		
			R^2	m_1	m_0
Mínimo	0.66	-3.75	0.71	267.96	292.1
Máximo	14.98	10.89			
Promedio	6.98±4.20	6.30±2.67			
RMSE	1.49 m				
MAE	2.22 m				

Se obtuvo la gráfica de cotejo de ambas medidas, se comparó las profundidades observadas vs. las estimadas desde el modelo SDB (Fig. 5); el perfil de profundidad alcanzó una $R^2 = 0.80$, se observó que la SDB

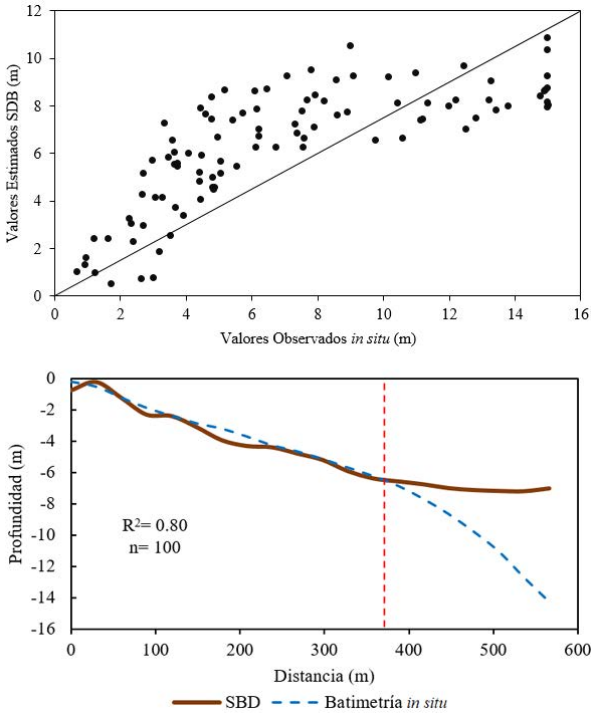


Fig. 5. (Superior) Profundidad de valores observados y estimados. (Inferior) Perfil batimétrico de incertidumbre entre datos *in situ* y SDB
Fig. 5. (Top) Depth of observed and estimated values. (Bottom) Bathymetric profile of uncertainty between data *in situ* and SDB

alcanza la mayor incertidumbre a los 7 m de profundidad.

Estándar IHO-S44

Se determinó el valor de incertidumbre máxima TVU permitida en ambas superficies (Cuadro 4); se observó que los valores de TVU para la SDB son ligeramente mayores a los de la batimetría *in situ* para las diferentes categorías del estándar S-44 en la detección de rasgos.

Cuadro 4. Incertidumbre Total Vertical (TVU) según estándar OIH – S-44
Table 4. Total Vertical Uncertainty (TVU) based on IHO – S-44

Orden	Especial	IA	IB	2
Máximo TVU permitido 95%	a=0.25 m b=0.0075	a=0.5 m b=0.013	a=0.5 m b=0.013	a=1.0 m b=0.023
TVU <i>in situ</i>	± 0.2538 m	± 0.5058 m	± 0.5058 m	± 1.009 m
TVU SDB	± 0.2549 m	± 0.5074 m	± 0.5074 m	± 1.012 m
Detección de rasgos	Rasgos cúbicos > 1 m	Rasgos cúbicos > m en profundidades hasta 40 m	No aplica	No aplica

De igual manera, los puntos de profundidad que cumplen la categoría de Orden Espacial corresponden el 75.10 y 51.17% para datos *in situ* y la SDB respectivamente (Cuadro 5); el valor de rechazo más alto de TVU correspondió para el Orden 2 de la SDB con el 73.40%.

Cuadro 5. Análisis cuantitativo de las batimetrías según el estándar OIH S-44
 Table 5. Quantitative analysis of bathymetric data based on IHO-S-44

Orden	Batimetría <i>in situ</i>						SDB	
	OIH aceptados	%	OIH rechazados	%	OIH aceptados	%	OIH rechazados	%
Especial	43619	75.10	14463	24.90	983	51.17	938	48.83
1A	37882	65.22	20200	34.78	706	36.75	1215	63.25
1B	37882	65.22	20200	34.78	706	36.75	1215	63.25
2	30153	51.91	27929	48.09	511	26.60	1410	73.40
Conteo			58 082				1 921	

DISCUSIÓN

Las imágenes Landsat 8 utilizadas en este estudio presentaron una buena calidad y no evidenciaron factores ambientales que pudiesen alterar los posteriores análisis; según (Jégat *et al.* 2016; IHO-IOC, 2019) las imágenes Landsat son las más utilizadas para

derivar productos SDB. Se utilizan desde varias décadas debido a la fácil adquisición y libre disposición para la comunidad científica (Pacheco *et al.* 2016; Kimeli *et al.* 2018).

La determinación de la SDB a través del método empírico de Stumpf obtuvo un $R^2 = 0.80$ respecto los datos tomados *in situ*; el resultado de este estudio presentó mejor ajuste frente a los reportados por (Setiawan *et al.* 2017; Ashphaq, 2018; Ekpa & Ojinnaka, 2018; Tang & Mahmud, 2018); por otro lado, presenta gran similitud al valor del ajuste para análisis reportados por (Jagalingam *et al.* 2015; Pushparaj & Hegde 2016; Kimeli *et al.* 2018; Putri *et al.* 2018); del mismo modo, se pudo evidenciar que el valor de la reflectancia de la banda azul y verde aumenta cuando las aguas se vuelven poco profundas; por ende, se presenta una relación inversamente proporcional en relación a la profundidad (Gao, 2009); otro aspecto a considerar es incluir en el análisis la banda 1 (Coastal/Aerosol) del Landsat 8, ya que cumple con el rango espectral de aplicación y se ha visto que mejora sustancialmente la estimación de la profundidad en aguas costeras (Vinayaraj *et al.* 2016; Kabiri, 2017).

La imagen satelital utilizada en este estudio, presentó dos meses de diferencia en comparación a los datos levantados *in situ*, los valores negativos en la SDB pueden evidenciar posibles fenómenos dinámicos de acreción de sedimentos, estos datos pueden servir en gran medida para el seguimiento de la

morfología y dinámica costera (Pacheco *et al.* 2016). Cabe mencionar que la SDB proporciona una oportunidad para la investigación científica en varias líneas como, la planificación espacial marina, gestión costera, acuicultura, geología marina, la ingeniería, ciencias biológicas y marinas entre otros propósitos (Jonas, 2018; Caballero & Stumpf, 2020). La SDB también contempla apoyo a las autoridades regionales en tareas comunes de línea base, delimitación, análisis de cambios del fondo marino, cartografía batimétrica para brindar seguridad en la navegación (Politi *et al.* 2019).

El RMSE y MAE alcanzaron un valor de 1.49 y 2.22 m respectivamente; el RMSE fue similar al reportado por (Kimeli *et al.* 2018) pero superiores a los registrados por (Jagalingam *et al.* 2015); el MAE por su parte fue superior al reportado por (Tang & Mahmud, 2018); otras SDB determinadas con imágenes de mediana resolución como las del Sentinel 2 reportaron valores similares (Chybicki, 2017; Evagorou *et al.* 2019); las variaciones temporales y condiciones ambientales no favorables en la imagen son factores que pueden aumentar el error de la estimación de la SDB (Bramante *et al.* 2013; Pushparaj & Hegde, 2016; Evagorou *et al.* 2019).

Este estudio demostró que la SDB con imágenes Landsat 8 alcanzó a cartografiar una profundidad efectiva de hasta ± 7 m, resultados superiores al reportado por (Jagalingam *et al.* 2015; Najhan *et al.* 2017; Kimeli *et al.*

2018); el perfil longitudinal de este trabajo demostró que el modelo se vuelve constante y no correlacionado en profundidades superiores a los 7 m, lo cual aumenta en gran medida la incertidumbre de los datos (Chybicki, 2017); de igual manera, Gao, (2009) afirma que se puede cartografiar la SDB con una precisión hasta 7.5 m de profundidad y que algunos factores como la turbidez, los materiales del fondo y las características propias de la imagen pueden afectar en gran medida la estimación de esta variable; sumado a esto Pe'eri *et al.* (2014) menciona que las condiciones ambientales como la cobertura de nubes y el reflejo del sol sobre la lámina de agua son otros factores que pueden generar incertidumbre en la determinación de la profundidad con la SDB.

En la zona de estudio se han realizado mediciones en la concentración de los Sólidos Suspendidos Totales (SST), los resultados han demostrado que en épocas de lluvia la concentración de SST aumenta debido al transporte de sedimentos y procesos de erosión de las fuentes hídricas que desembocan a la bahía, lo cual incide negativamente en la penetración de la luz al fondo marino (Vivas-Aguas *et al.* 2012); esto puede ser un factor clave para realizar la SDB en una época determinada del año (Tang & Mahmud, 2018). Es necesario profundizar en el estudio de las propiedades ópticas inherentes del océano (OIPs) ya que a través de elementos y partículas

suspendidas en el océano se reflejan indicadores de la calidad del agua y estos puede afectar negativamente la respuesta espectral del fondo marino capturada por sensores (Dierssen *et al.* 2003).

La evaluación de las batimetrías estuvo acorde a los valores permitidos para la TVU en la norma OIH - S44 para levantamientos hidrográficos, de igual manera, el 51.17% de las profundidades de la SDB alcanzó la categoría de Orden Especial, este orden es el más riguroso dentro de la clasificación de los levantamientos hidrográficos de la norma S-44 y es de exclusivo interés en zonas donde se presentan atraques, puertos y áreas críticas para la navegación (OIH, 2008). Aunque, la OIH no tiene un estándar específico para evaluar la calidad del levantamiento batimétrico con la SDB, surge una oportunidad de generar protocolos y adoptarlos a productos para la navegación (Mavraeidopoulos *et al.* 2017). De igual manera, diferentes servicios hidrográficos en el nivel mundial han utilizado la SDB como complemento dentro de la generación de información batimétrica de reconocimiento y generación de productos hidrográficos de bajo costo (Jégat *et al.* 2016; Rocchio, 2016; Chéiner *et al.* 2018).

CONCLUSIONES

El presente estudio reflejó una aproximación a la cartografía batimétrica que utiliza imágenes

multiespectrales de mediana resolución del Landsat 8 en un sector de Bahía Solano en Colombia; además, se presenta como una oportunidad para desarrollar temas de investigación que involucren el Manejo Integrado de Zonas Costeras - MIZC, temas que son de especial interés para las ciencias marinas y la ingeniería; el uso de la SDB puede verse como un complemento para adquirir datos de profundidades en zonas costeras donde no existan, esto debido a los bajos costos de adquisición de las imágenes de satélite y el rápido procesamiento al utilizar Teledetección y SIG; la SDB puede ser manejada como una herramienta complementaria de apoyo para las diferentes oficinas hidrográficas que requieran información batimétrica de lugares específicos y en la planificación de futuras misiones de levantamiento hidrográfico.

Por otro lado, se recomienda el uso de otras imágenes de satélite de sensores ópticos de mayor resolución espacial para derivar SDB en aguas poco profundas, como también, la comparación de otros modelos empleados en la literatura para determinar el rendimiento de la SDB con diferentes enfoques metodológicos.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General Marítima de Colombia, en especial al Área de Manejo Integrado de Zona Costera

del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico - CCCP; a la oficina de Levantamientos Hidrográficos del CCCP en Tumaco, por la autorización en el uso de datos batimétricos oficiales y a los evaluadores anónimos por las recomendaciones.

REFERENCIAS

- Aguilar, H., Mora, R. & Vargas, C. (2015). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 y Landsat 8 con el módulo Flaash del software Envi. *Rev. Geogr. Am. Cent.*, 2(53), 39-59. <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Ariza, A. (2013). Descripción y corrección de productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission) Versión 1.0. *Centro de Investigación y Desarrollo - CIAF*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf
- Ariza, A. & Ramírez, H. M. (2014). Modelo batimétrico derivado de imágenes Landsat ETM + en zonas de arrecifes tropicales. *Rev. Cartogr.*, 90, 43-58.
- Ashphaq, M. (2018). *Bathymetry estimation in turbid water using SENTINEL 2 image*. <https://www.adv-geosci.net/45/397/2019/adgeo-45-397-2019.pdf>
- Benny, A. H. & Dawson, G. J. (1983). Satellite Imagery as an Aid to Bathymetric Charting in the Red Sea. *CARTOGR J.*, 20(1), 5-16. <http://doi.org/10.1179/caj.1983.20.1.5>
- Bramante, J. F., Raju, D. K. & Sin, T. M. (2013). Multispectral derivation of bathymetry in Singapore's shallow, turbid waters. *Int. J. Remote Sens.*, 34(6), 2070-2088. <http://doi.org/10.1080/01431161.2012.734934>
- Caballero, I. & Stumpf, R. P. (2020). Atmospheric correction for satellite-derived bathymetry in the Caribbean waters: from a single image to multi-temporal approaches using Sentinel-2A/B. *Opt. Express*, 28(8), 11742-11766. <http://doi.org/10.1364/OE.390316>
- CIOH. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. (2017). *Carta Hidrográfica 710, bahía interior de Solano Escala 1:10.000*. <https://www.cioh.org.co/index.php/es/cartas-nauticas.html>
- Chéiner, R., Faucher, M. A. & Ahola, R. (2018). Satellite-Derived Bathymetry for Improving Canadian Hydrographic Service Charts. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 7(306), 2-15. <http://doi.org/10.3390/ijgi7080306>
- Chybicki, A. (2017). Mapping south baltic near-shore bathymetry using sentinel-2 observations. *Pol. Marit. Res.*, 24(3), 15-25. <https://doi.org/10.1515/pomr-2017-0086>
- Deng, Z., Ji, M. & Zhang, Z. (2008). Mapping bathymetry from multi-source remote sensing images: a case study in the beilun estuary, guangxi, China. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 37, 1321-1326. https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8_pdf/13_ThS-19/05.pdf
- Dierssen, H. M., Zimmerman, R. C. Leathers, R. A. Downes, T. V. & Davis, C. O. (2003). Ocean color remote sensing of seagrass and bathymetry in the Bahamas Banks by high-resolution airborne imagery. *Limnol. Oceanogr.*, 48, 444-455. https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0444
- Ekpa, A. U. & Ojinnaka, O. C. (2018). Estimating bathymetry of cross river in Nigeria using remote sensing technique. *SSRG Int. J. Geoinf. Geol. Sci.*, 5(3), 1-15.

- <https://doi.org/10.14445/23939206/IJGGS-V5I3P101>
- ESRI. (2018). *ArcGIS Desktop: Release 10.6*. EE. UU.: Environmental Systems Research Institute. <https://desktop.arcgis.com/es/>
- Evagorou, E., Mettas, C. Agapiou, A. Themistocleous, K. & Hadjimitsis, D. (2019). Bathymetric maps from multi-temporal analysis of Sentinel-2 data: the case study of Limassol, Cyprus. *Adv. Geosci.*, 45, 397-407. <https://doi.org/10.5194/adgeo-45-397-2019>
- Gao, J. (2009). Bathymetric mapping by means of remote sensing: Methods, accuracy and limitations. *Prog. Phys. Geogr.*, 33(1), 103-116. <https://doi.org/10.1177/0309133309105657>
- Goodrich, K. (2018). *Machine Learning Applications for Satellite Derived Bathymetry*. Colombia: GEBCO. https://iho.int/mtg_docs/rhc/MACHC/MA-CHC19/MACHC19-06.7-TCarta.pdf
- Hedley, J., Harborne, A. & Mumby, P. (2005). Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. *Int. J. Remote Sens.*, 26(10), 2107-2112. <https://doi.org/10.1080/01431160500034086>
- Ibrahim, M. & Cracknell, A. P. (1990). Cover Bathymetry using Landsat MSS data of Penang Island in Malaysia. *Int. J. Remote Sens.*, 11(4), 557-559. <http://doi.org/10.1080/01431169008955040>
- IHO-IOC. International Hydrographic Organization - Intergovernmental Oceanographic Commission (2019). *The IHO-IOC GEBCO Cookbook*. Francia: OHI Publication B-11, IOC Manuals and Guides 63. International Hydrographic Organization, Intergovernmental Oceanographic Commission. https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lisa/GEBCO_Cookbook/
- Jagalingam, P., Akshaya, B. J. & Hegde, A. V. (2015). Bathymetry mapping using landsat 8 satellite imagery. *Procedia Eng.*, 116(1), 560-566. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.326>
- Jégat, V., Pe'eri, S. Freire, R. Klemm, A. & Nyberg, J. (2016, mayo). *Satellite-Derived Bathymetry: Performance and Production*. Canadian Hydrographic Conference, Halifax, NS.
- Jonas, M. (2018, junio). *Why is satellite derived bathymetry needed? SDB Day*, User and Technology Forum, Munich, Alemania.
- Kabiri, K. (2017). Accuracy assessment of near-shore bathymetry information retrieved from Landsat-8 imagery. *Earth Sci. Inform.*, 10, 235-245. <http://doi.org/10.1007/s12145-017-0293-7>
- Kimeli, A., Thoya, P. Ngisiang, N. Ong, H. & Magori, C. (2018). Satellite-derived bathymetry: A case study of Mombasa Port Channel and its approaches, Kenya. *West. Indian Ocean J. Mar. Sci.*, 17(2), 93-102. <http://dx.doi.org/10.4314/wiojms.v17i2.8>
- Knudby, A., Ahmad, S. K. & Ilori, C. (2016). The Potential for Landsat-Based Bathymetry in Canada. *Can. J. Remote Sens.*, 42, 367-378. <http://doi.org/10.1080/07038992.2016.1177452>
- Lyzenga, D. (1978). Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Appl. Opt.*, 17(3), 379-383. <http://doi.org/10.1364/AO.17.000379>
- Lyzenga, D. (1985). Shallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data. *Int. J. Remote Sens.*, 6(1), 115-125. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431168508948428>
- Mavraeidopoulos, A., Navy, H. Pallikaris, A. Academy, H. N. & Oikonomou, E. (2017). Satellite derived bathymetry (SDB) and safety of navigation. *Int.*

- Hydrogra. Rev.*, 7-19. <https://journals.lib.unb.ca/index.php/ihr/article/view/26290>
- Najhan, S., Mohd, M. & Rozaimi, H. (2017). Satellite-Derived Bathymetry: Accuracy assessment on depths derivation algorithm for shallow water area. *Int. Arch. Photogramm., Remote Sens. Spat. Inform. Sci.*, 42, 159-164. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W5-159-2017>
- OIH. Organización Hidrográfica Internacional. (2008). *Normas de la OHI para los Levantamientos Hidrográficos*. S-44 (5th ed.). Francia. Bureau Hidrográfico Internacional. http://bathyswath.com/sites/default/files/documents/S-44_5S.pdf
- Pacheco, A., Horta, J. Loureiro, C. & Ferreira, Ó. (2016). Retrieval of nearshore bathymetry from Landsat 8 images: A tool for coastal monitoring in shallow waters. *Remote Sens. Environ*, 159, 102-116. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.004>
- Pe'eri, S., Parrish, C. Azuiké, C. & Armstrong, A. (2014). Satellite remote sensing as a reconnaissance tool for assessing nautical chart adequacy and completeness. *Mar. Geod.*, 37(3), 37-41. <https://doi.org/10.1080/01490419.2014.902880>
- Philpot, W. (1989). Bathymetric mapping with passive multispectral imagery. *Appl. Opt.*, 28(8), 1569-1578. <http://doi.org/10.1364/AO.28.001569>
- Pierini, O. & Rodríguez, A. (2014). Caracterización oceanográfica de la bahía de Solano. *Boletín Científico CIOH.*, 32, 223-256. <https://doi.org/10.26640/22159045.274>
- Polcyn, F. C., Brown, W. L. & Sattinger, I. J. (1970). *The Measurement of Water Depth by Remote Sensing Techniques*. EE. UU.: The Institute of Science and Technology, The University of Michigan. <https://pdfs.semanticscholar.org/59b2/a818598554825c7923bc3d51edd64d443fld.pdf>
- Politi, E., Paterson, S. K. Scarrott, R. Tuohy, E. Mahony, C. O. & Cámara-garcía, W. C. A. (2019). Earth observation applications for coastal sustainability: potential and challenges for implementation. *Anthropocene Coasts.*, 2(1), 306-329. <https://doi.org/10.1139/anc-2018-0015>
- Pushparaj, J. & Hegde, A. V. (2016). Estimation of bathymetry along the coast of Mangaluru using Landsat-8 imagery. *Int. J. Ocean Climate Syst.*, 8(2), 71-83. <https://doi.org/10.1177/1759313116679672>
- Putri, J. C. A., Fuad, M. A. Z. & Asadi, M. A. (2018). Bathymetry mapping using Landsat 8 multispectral data of bangsring coastal area. *Omini-Akuatika*, 14(1), 54-61. <https://doi.org/10.20884/1.oa.2018.14.1.368>
- Rocchio, L. E. P. (2016). Avoiding Rock Bottom: How Landsat Aids Nautical Charting. *Landsat Sci.*, 71-77. https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat_Improve_Life_Bathymetry.pdf
- Setiawan, K., Adawiah, S. Marini, Y. & Winarso, G. (2017). Bathymetry data extraction analysis using Landsat 8 data. *Int. J. Remote Sens. Earth Sci.*, 13(2), 79-86. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2016.v13.a2448>
- Stumpf, R. P., Holderied, K. & Sinclair, M. (2003). Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnol. Oceanogr.*, 48, 54-556. https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547
- Tang, K. K. W. & Mahmud, M. R. (2018). Imagery-derived bathymetry in Strait of Johor's turbid waters using multispectral images. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*

- 42, 139-145. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W9-139-2018>
- USGS. U. S. Geological Survey. (2017). *Imagen Multiespectral Landsat 8 OLI, ID LC80100562017023LGN01*. EE. UU.: Landsat Data Continuity Mission. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. U. S. Geological Survey. (2018). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook - Version 3.0*. EE. UU.: USGS. https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook.pdf
- Vinayaraj, P., Raghavan, V. & Masumoto, S. (2016). Satellite-Derived Bathymetry using Adaptive Geographically Weighted Regression Model. *Mar. Geod.*, 39(6), 458-478. <http://doi.org/10.1080/01490419.2016.1245227>
- Vivas-Aguas, L. J., Espinosa, J. Sánchez, B. Cadavid, P. Bautista, M. Quintero, J...& Espinosa. (2012). *Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia –REDCAM. Informe técnico 2011*. Santa Marta: INVEMAR.
- Warne, D. K. (1978). Landsat as an Aid in the Preparation of Hydrographic Charts. *Photogramm Eng Remote Sensin.*, 44(8), 1011-1016.

Convenciones sociales y certificación de los productos pesqueros

Social conventions and certification of fishery products

*Fernando González Laxe¹**

RESUMEN

Los pescadores siguen tres lógicas. La que está definida por la maximización del beneficio; la relacionada con la abundancia y la situación de los *stocks*; y la vinculada a las expectativas sociales y económicas. Piensan en “comportamientos ideales”; y, sobre esa base, actúan en función de sus habilidades y con prevalencia de una actitud individual más que colectiva. No obstante, en la medida que los problemas de la gestión pesquera tienen su origen en el análisis de los recursos y en la configuración de los mercados, los pescadores acuden a las convenciones sociales para dar coherencia a sus acciones y poner el acento en la coordinación de los agentes. Metodológicamente, se analizan aquellas convenciones sociales que mantienen una regularidad estable en lo concerniente al proceder de los pescadores y que permiten crear una conducta recurrente en términos de interacciones sociales. El objetivo del trabajo es recoger aquellas prácticas, costumbres, intereses comunes y normas que definen las reglas de comportamiento. Destacamos seis tipos de convenciones sociales: a) las organizativas (que reflejan la actitud de voluntariedad); b) las representativas (que son instrumentos de negociación); c) las reivindicativas (que plasman exigencias ante problemas); d) las comerciales (que refuerzan ventajas diferenciales); e) los procesos de certificación (que subrayan ventajas comparativas y barreras de entradas); y f) las de defensa de la sostenibilidad y bienes comunes (que enfatizan más sobre la preservación que sobre la producción). Finalmente, subrayamos que los productos certificados se han convertido en herramientas políticas y de negociación comercial.

Palabras clave: Conducta del pescador, convención social, gestión pesquera, productos certificados y reglas de comportamiento

ABSTRACT

Fishermen’s logic is related to three aspects: profit maximization; abundance and stock situation; and social and economic expectations. They think in terms of “ideal behaviors” and, based on that, they act according to their abilities mostly with an individual rather than a collective attitude. However, when problems in fishery management stem from the analysis of resources and the configuration of markets, fishermen resort to social conventions to give coherence to their actions and emphasize agents’ coordination. Methodologically speaking, the paper analyzes

1 Catedrático de Economía Aplicada y Director del Instituto de Estudios Marítimos. Facultad de Economía y Empresa. Universidade da Coruña (España). f.laxe@udc.es* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5399-3446>

the social conventions that maintain a stable regularity in fisherman behavior and that allow establishing a recurrent behavior in terms of social interactions. The purpose of the article is to collect those practices, habits, common interests, and norms that define behavior rules. Six types of social conventions are highlighted here: a) organizational (which reflect voluntary attitudes); b) representative (used as negotiation instruments); c) reclaiming (make demands when there are problems); d) commercial (reinforce differential advantages); e) certification processes (underline competitive advantage and entry barriers); and f) social conventions to defend sustainability and common goods (more emphasis on presentation rather than production). Finally, it should be noted that certified products have become political and trade negotiation tools.

Keywords: Fisherman's behavior, social convention, fishery management, certified products, and behavior rules

INTRODUCCIÓN

Cambios y transformaciones en el sistema mar-industria

El mercado alimentario muestra unas notables transformaciones a lo largo de las últimas décadas. El conjunto de dinámicas relacionadas con las mayores ofertas de productos; los cambios en la demanda; las proyecciones demográficas; la nueva competencia entre productos; la mayor rivalidad entre países; y, sobre todo, las nuevas inquietudes y criterios vinculadas a las decisiones de compra, ya sea en lo que hace referencia a los hogares o en el sector de la distribución y consumo, aceleran dichos cambios. La evolución del sistema mar-industria pasa por transformaciones muy notables. De una parte, las actividades artesanales, tan abundantes en las comunidades costeras, afrontan situaciones de elevada explotación de los recursos, desvalorización de los precios de productos pesqueros y cada vez más una

falta de mano de obra (González Laxe, 2019a). De otra parte, la industria pesquera se internacionaliza y se vincula a corporaciones alimentarias de alcance mundial, con una orientación extractiva dirigida a mercados altamente especializados (Österblom *et al.* 2015) Dichas dinámicas subrayan el aumento de la especialización flexible de la producción, el fraccionamiento de los procesos productivos y la continua adaptación y reestructuración de las pesquerías nacionales. Son las respuestas a la creciente demanda de *inputs* por parte de las corporaciones transnacionales, para poder abastecer a sus redes de producción y distribución.

Los problemas derivados de la gestión pesquera se han centrado en los aspectos relacionados con los derechos de propiedad de determinados recursos y su incidencia en las condiciones y dinámicas del mercado. En la medida que los peces constituyen un recurso natural, biológico, móvil, renovable, sustractivo, variable y finito,

su gestión es muy compleja. Los derechos de propiedad se convierten en un instrumento jurídico-económico que ayuda a establecer la relación entre las personas respecto a los recursos naturales. De cara a la regulación y a la ordenación pesquera se utilizan como una corriente de beneficios para unos que los demás productos deben respetar (Omstrom, 1999). Se subrayan cuatro tipos de derechos: a) los derechos de uso (aquellos que conceden el acceso como la captura); b) el derecho de manejo (aquel que regula la participación en la ordenación pesquera mediante el comanejo); c) el derecho de exclusión (que determina quienes poseen la condición de acceso y de captura); y d) el derecho de transferencia (las consideraciones relativas a los derechos de venta, transmisión o legado). Por eso, se afirma que los derechos de propiedad son mecanismos institucionales a través de los cuales los pescadores o comunidades de pescadores tienen el derecho de acceder a un área y a una captura; siendo posible y aplicable su uso individual o colectivo, pudiendo establecer limitaciones de entrada.

La intensa competencia mundial, antaño delimitada por el volumen y el precio, se transforma progresivamente en una nueva dinámica definida por la supremacía de los grandes distribuidores, al amparo de los procesos de liberalización comercial (OECD, 2010). Dichos procesos suponen la

consolidación de cadenas más extensas de producción y de distribución que garantizan una mayor disponibilidad de alimentos; la multiplicación de proveedores; y el establecimiento de estándares de calidad. Esto es, el actual sistema mar-industria se encuentra caracterizado por la reorganización de los procesos de producción, distribución y consumo; así como por la presencia de un consumidor más proactivo y atento a los niveles de calidad, aspectos que pueden llegar a ser interpretados como una barrera de entrada para aquellos alimentos a los que se les exige unos estándares impuestos por las recomendaciones y consejos que dominan los mercados de adscripción (Hernández & Vilaseñor, 2014).

Estas dinámicas permiten advertir cuatro rasgos destacados: a) la necesidad de firmar tratados comerciales entre los países productores y comercializadores; b) un mayor protagonismo de las grandes corporaciones internacionales; c) la existencia de agencias gubernamentales encargadas de la regulación de la producción, distribución e inspección; y d) la existencia de nuevos nichos de mercados que se diferencian y que buscan la especialización al ofertar productos con garantías de calidad y seguridad a los consumidores. Esta visión de las apuestas pesqueras remarca unos determinados ejes que contribuyen a subrayar directrices tendentes hacia una oferta más homogeneizadora, nuevas

posiciones del consumo doméstico frente a la globalización; una revalorización de los productos procedentes de modelos alternativos e incorporados a las especificidades de un territorio y de un ecosistema; y el advenimiento de una industria innovadora frente a los modelos de producción artesanal (McMichael, 2005).

El trabajo se centra en explicar, en primera instancia, en el funcionamiento del sector pesquero desde la visión de la teoría de las convenciones; es decir, al evaluar los acuerdos entre actores, en la búsqueda y defensa de sus intereses. El segundo apartado, contempla la controversia entre los aspectos concernientes a la gestión pesquera y los aspectos territoriales, analizados desde la óptica de las relaciones sociales. Más tarde, se enfoca el proceso de valorización de los productos pesqueros y la dinámica de las certificaciones de las pesquerías. En este sentido, se contextualizan las instituciones vinculadas a la certificación de las cadenas de custodia y las acciones vinculadas al etiquetado de los productos pesqueros y a los mecanismos de diferenciación de estos. A continuación, se identifican los elementos claves dentro de la cadena de valor y se finaliza con un capítulo de conclusiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se procedió a reflejar las distintas lógicas existentes en un sector pesquero, en constante mutación y reorganización, a la luz de las dinámicas de los cambios tecnológicos, la liberalización comercial y las modificaciones de los hábitos en el consumo. A nuestro juicio, los pescadores siguen, normalmente, tres lógicas. La primera, está definida por la maximización del beneficio. Es decir, se busca que la diferencia entre ingresos y costes sea mínima. Por lo menos satisfactoria, dentro de los umbrales del negocio, o que las ratios obtenidas sean objeto de comparación con las expectativas y necesidades que surgen dentro del entorno social y territorial más próximo, lo que se denomina coste de oportunidad. Los pescadores estiman sus expectativas (ejercen cálculos previos de sus rendimientos de ingresos y gastos) y lo hacen asociados a niveles de producción, al incluir los factores vinculados a la incertidumbre y a la imprevisibilidad. Las variables claves de dicha situación vienen dadas por la relación costes/beneficios; por los sistemas de remuneración, por los lugares de pesca; y por los aspectos socioculturales derivados del entorno y del legado histórico y familiar. La segunda lógica está relacionada con las repercusiones de la crisis biológica. Se

tiene en consideración la distribución de las poblaciones de peces y, por tanto, se busca y se piensa en “*comportamientos ideales*”; para, sobre ellos, actuar en función de sus habilidades y niveles de competitividad. De esta forma, sobresale la actitud individual más que el comportamiento conjunto de las flotas. Las variables claves de dichas actuaciones vienen dadas por la definición de espacios, de lugares y de zonas de pesca, por un lado; y, por los permisos de acceso a dichos emplazamientos, por el otro. Finalmente, es preciso insistir en que los pescadores no actúan de manera uniforme, sino que cada uno de ellos dispone y utiliza informaciones diferentes, provenientes de su experiencia y de las tradiciones heredadas. La tercera lógica está determinada por los enfoques sociales. Esto es, por los derechos sociales, por los comportamientos familiares y los del ámbito territorial. La variable clave sería la conducta de los pescadores relacionada con la dimensión de la flota. No existen, idénticos comportamientos en la flota artesanal, ni costera, ni industrial. Asimismo, el comportamiento del pescador está muy correlacionado con las expectativas relativas a las condiciones de bienestar, supervivencia, entorno, satisfacción laboral y esperanza de vida. Los aspectos relacionados con la pertenencia geográfica y territorial junto al rol desempeñado por el ámbito social-cultural en el que se inscribe, hace

que los pescadores formen parte de una identidad particular, como grupo complejo y dinámico, del que se derivan actuaciones singulares en lo que concierne a las relaciones, procesos y vínculos, ya sean muy estrechos entre sí y entre su entorno. De esta forma, se conservan y refuerzan sus tradiciones, valores y percepciones presentes, tanto en sus comunidades pesqueras como en lo que atañe a sus vínculos familiares.

El sector pesquero afronta, pues, varios desafíos: a) sufre la influencia de las relaciones de mercado y de los consumidores; b) reduce su control sobre el uso de los recursos pesqueros, dados los procesos de extensificación de las zonas pesqueras y de la dispersión espacial de las capturas; c) queda muy exigido bajo las prácticas de los circuitos de distribución y de las cadenas globales de suministros, para no perder las cualidades organolépticas del recurso; y d) se mantiene muy subordinado a las decisiones gubernamentales, en la medida que no se han generalizado políticas de cogobernanza o acciones colectivas de acción.

El problema de la gestión pesquera tiene, pues, su origen en dos manifestaciones diferentes: en el análisis de los recursos biológicos y en la configuración de los mercados pesqueros y la fijación de los precios. El recurso no es objeto de una apropiación individual formal. El acceso al mismo es, normalmente, libre; de ahí que se utilice el concepto de recurso común.

Pero, la apropiación efectiva del recurso solo es posible después de sus capturas. Esta ausencia de control sobre el recurso induce a una competencia continua con los demás productores; es decir, todo lo que uno no captura; puede ser extraído por los demás. Las capturas efectuadas por un pescador dependen, en consecuencia, de la intensidad de la pesca que se ejerce y de la actividad realizada por lo demás pescadores que explotan el mismo recurso. Esta externalidad económica es una fuente permanente de incertidumbre para el pescador. Asimismo, el recurso está sometido a fuertes oscilaciones temporales y a ciclos de abundancia que condicionan su disponibilidad, porque depende del ecosistema y de las características definidas por el hidroclima.

Respecto al mercado y a los precios se asiste a continuas fluctuaciones, que muestran importantes variaciones al socaire de las diferentes cantidades de oferta o de las modificaciones por parte de las demandas. Son relevantes, en primer término, los factores derivados de las conductas y hábitos de los consumidores; en segundo lugar, los aportes procedentes de las importaciones; en tercer lugar, el papel desempeñado por los circuitos de distribución, al ser más potentes y globales; y finalmente, se debe resaltar la dinámica de liberalización de los mercados internacionales, que contribuyen a reforzar la presión sobre el ejercicio pesquero (OECD, 2010), al incrementar los

niveles de incertidumbre sobre los mercados y los precios, siendo estos últimos cada vez más exógenos.

Análisis de la teoría de las convenciones en el sistema alimentario

En la década de los noventa, Boltanski & Thévenot (1991) recurrieron a las *teorías de las convenciones* para lograr explicar las relaciones entre los procesos de producción y las cadenas de suministro de alimentos. Dichas teorías buscaban dar sentido de coherencia a los diversos fenómenos existentes en el campo de la alimentación. Las mencionadas teorías ponían el acento en la coordinación de los actores y en su comportamiento. Vinculaban las acciones determinadas, en un momento dado, con los modelos normativos que estaban siendo aceptados (Ponte, 2009). Dichos modelos no constituían valores jerárquicos, como si ocurría en la teoría regulacionista (que se focaliza en la producción de los bienes y servicios, así como en la provisión de los servicios públicos, que velan por la competencia entre productores), sino que solo tenían sentido en escenarios específicos; es decir, vinculados a territorios concretos. Por eso, la teoría de la convención plantea que la justificación social de los agentes y sus acciones pueden tener posicionamientos diversos; y, que cada mundo posee una coherencia interna, mediante algunos puentes que se interrelacionan entre sí (Ponte, 2009).

En atención a este enfoque analítico, tanto las formas de producción, distribución y funcionamiento de los mercados, como la canalización de las preferencias de los consumidores, están sujetas a un conjunto de reglas, normas, convenciones e instituciones. Buscan eliminar y minimizar las incertidumbres entre los actores principales. Hernández & Villaseñor (2014) afirman que “las convenciones son acuerdos que se toman en torno a un producto cuando el precio no es suficiente para calificarlo”. Por su parte, Boltanski & Thévenot (1991) distinguen varios escenarios en los que se llevan a cabo las transacciones de intercambio o de los flujos de bienes y servicios. Cada uno de ellos posee y está creado a partir de paradigmas particulares y posee incidencia en el diverso comportamiento de los actores, con el fin de facilitar la coordinación entre los mismos. Ello ha llevado a poder delimitar que el consumo de alimentos es la resultante, como sugiere Fonte (2002) de una pluralidad de convenciones (doméstica, comercial, industrial, de opinión y cívica) y de la propia coordinación de las actividades económicas del sistema alimentario en su conjunto. Dentro de estas circunstancias, la calidad del producto puede ser interpretada como el proceso de coordinación entre pescadores, por un lado; y consumidores, por el otro. Siendo en este supuesto analítico, el proceso de certificación aquel

mecanismo necesario, aunque no suficiente, para recuperar la confianza de los consumidores.

La convención, en este sentido, llega a ser definida como un conjunto de acuerdos individuales negociados dentro de un conjunto específico, afirma Wilkinson (2010); aunque hay que matizar que tales acuerdos se producen en distintos escenarios. Bajo el concepto de la convención, Hernández & Villaseñor (2014) significan dos visiones teóricas de la calidad del sistema alimentario. La primera, busca analizar las bases estructurales, vinculadas a las exigencias de calidad e inocuidad, como requisitos indispensables para el correcto funcionamiento del sistema alimentario, en virtud de los acuerdos globales suscritos por los países más importantes. La segunda visión, desde una perspectiva más cercana al individualismo, intenta explicar cómo los grupos y los individuos que participan en el sistema alimentario construyen, negocian y fijan sus posturas respecto a la calidad. A juicio de Espinosa & Sánchez (2013) dichas estrategias son fácilmente comprensibles dadas las apuestas productivas tan diversas, como la acuicultura orgánica, la recualificación productiva, el mercado callejero de productos frescos, las áreas marinas protegidas, el comercio justo o las cadenas de valor. Por lo que tales estrategias son el resultado de perseguir no solo la maximización del beneficio, sino la pertenencia a un

contexto territorial, con la existencia de vínculos y relaciones sociales, políticas, culturales y de orden económico, que obliguen a construir y mantener un compromiso permanente y a la vez inestable entre diversas lógicas.

Emerge, bajo esta concepción, un nuevo marco teórico sobre la producción, distribución y consumo, donde la relación no está vinculada a un nexo directo entre cantidad y precio (González-Laxe, 2015); sino que se pueden incorporar nuevos criterios o convenciones, que permitan coadyuvar a condicionar las opciones de los consumidores y, por tanto, puedan afectar a las decisiones de los productores, tales como los nuevos desarrollos de *food-service*, por ejemplo.

Metodológicamente, las convenciones abarcan varias dimensiones. Se contabilizan las convenciones industriales (referenciadas a los procesos); las comerciales (ensalzan las formas tradicionales y el apoyo a las producciones locales); las públicas (dirigidas hacia la reputación y reconocimiento de marcas, distintos y envases); las cívicas (que buscan el bienestar individual y colectivo); y las ecológicas (que evalúan el impacto ambiental). O sea, las convenciones constituyen “*acuerdos que guían la acción, que es el resultado de una percepción compartida del entorno*” (Parrot *et al.* 2002). Dicho de otro modo, “es una forma de acuerdo no explícito”; distinguiéndose de los acuerdos contractuales explícitos

y concretos. En suma, se prescribe el comportamiento a adoptar, sin poseer la forma de un reglamento escrito al que nos podamos referir.

Distintas aportaciones han sugerido diferentes hipótesis de análisis. Se admiten dos funciones: la de coordinación y la de cooperación entre los individuos. North (1990) sugería que las convenciones poseen una inscripción social; pero que, al mismo tiempo, están conformados por reglas formales; sobre todo, en ausencia de mecanismos ligados a la reputación; de ahí sus continuos cambios. Por su parte, Boyer & Orléan (2004), subrayan cuatro tipos de transiciones al pasar de una convención a otra: el hundimiento general; la invasión por coerción o por adopción progresiva; la tradición; o el acuerdo. Existen otras teorías por las que las convenciones pueden emerger y transformarse por mimetismo (Orléan, 1989); o por la aceptación de nuevas informaciones (Bessy, 2006).

Bajo el ámbito de su inclusión en espacios territoriales, Salais & Stopper (1992) definen las convenciones como un conjunto de prácticas habituales y de reglas tácitas que gobiernan los mecanismos de coordinación entre la producción, la transformación, la comercialización y el consumidor final, que revelan cierto entendimiento sobre la calidad y definen, así, la manera como una denominación de origen busca su diferenciación en el mercado global. Subrayan, por tanto,

las utilidades de la teoría de las convenciones en el sentido de revelar las posibilidades del agregado de valores que se identifican por una idea homogénea, en base a la calidad existente en un territorio determinado.

La teoría de las convenciones constituye un marco de interpretación de la calidad en el sector de la alimentación. Sus principales defensores, Boltanski & Thévenot (1991), la entienden como un proceso de construcción social y de negociación entre actores. De esta manera, la calidad funciona como un conjunto de reglas tácitas sobre las que se organizan las actividades; y las convenciones son definidas como prácticas, rutinas y acuerdos informales o institucionalizados que permiten, entre otras cosas, identificar la calidad de los productos. Las convenciones pueden reflejar una estrategia comercial y productiva diferenciada, al estar basadas en un conjunto de valores que son compartidos entre los actores de unas cadenas productivas. Por eso, las convenciones no solo son guía para acciones emprendidas o a emprender; sino que también legitiman aquellas acciones que pueden ser llevadas a compromisos o posiblemente a rechazos (Ponte, 2009). Para ello, cada convención social debe cifrar y enumerar cada aspecto concreto, tanto en lo que se refiere a las condiciones de extracción y control de los recursos como a los ámbitos referidos a la calidad y garantías de estos.

La continua aproximación entre productos y territorios junto al desarrollo de los conceptos de proximidad social, aumentan el nivel de identificación entre territorios y productos; lo que contribuye a añadir un valor agregado al consumidor, al punto que los conceptos de genuinidad y tipicidad son el resultado de la historia, cultura y saber-hacer peculiar de un territorio, al constituir atributos de calidad, asociados a prácticas y comportamientos sociales y culturales; acumulados de generación en generación, admitiéndose formas de consumo propias de una región.

Ahora bien, ¿qué pasa en el momento que los productores no llegan a cumplir con los estándares de calidad aplicados por el mercado? Se presentan distintas manifestaciones. De entrada, las empresas transnacionales intentan desplazarlos y enfrentarlos con una competencia desigual dados los asimétricos recursos económicos, científicos, tecnológicos. La pesca costera y del litoral, por su parte, refuerza los sistemas de producción tradicionales, al permanecer en los mercados de proximidad, y en algunos informales, regulados por mecanismos diferentes a las del sistema alimentario mundial. Se basan en las redes de confianza y de lealtad que se establecen entre productores y consumidores que permiten que cuando un producto no posea etiquetas o certificaciones, ni llegue a cumplir con los requisitos exigidos por

las regulaciones sanitarias, se mantenga en aquellos niveles que satisfagan el gusto de ciertos consumidores y que se identifiquen con los mismos. Responden, pues, en estos casos, a cuestiones de arraigo y de identidad (Goodman, 2003). Estas últimas tendencias están siendo impulsadas por movimientos sociales de consumidores en defensa de los productores artesanales y de los sistemas de producción locales. Cuando se afianza una apuesta por compromisos con la sostenibilidad, salud, implicaciones éticas, defensa de la biodiversidad y protección de recursos naturales, por ejemplo, les hace ser considerados como un nuevo concepto de calidad alternativa.

¿Qué significan estas circunstancias?, Sin duda alguna, abrir un espacio para el desequilibrio de poderes dentro de una cadena de valores. Por un lado, las grandes corporaciones buscan, desde la perspectiva convencional, la renta privada máxima; y las pesquerías artesanales, desde la lógica de su regulación, persiguen la generación de una renta social, al promover un entorno social y económico equilibrado, que posibilita dinámicas positivas para los agentes económicos (cooperación, difusión de innovaciones y gobernanza local).

En los supuestos vinculados a los alimentos de calidad diferenciada, las pesquerías artesanales apuestan por las convenciones domésticas, cívicas y ecológicas en la medida que las dos

primeras (domésticas y cívicas) combinan las economías alternativas y de base local como los productos típicos; al revalorizar dichos productos y territorios; se evocan valores de pertenencia a tradiciones, historia y cultura: en tanto que las convenciones ecológicas, que hacen hincapié en la conservación y uso responsable de los recursos naturales, tienen más posibilidades de impulsar dinámicas favorables a un territorio, dada la mayor participación de los actores locales en todos los procesos sociales, económicos y políticos (Salas & Gaertner, 2004; Berkes & Nayak, 2018; Jentoft *et al.* 2018; Pauly, 2018; Song *et al.* 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El actual sistema pesquero internacional está sometido a constantes transformaciones que tienen como objetivo responder mediante una reorganización de sus unidades operativas a los nuevos procesos de producción y distribución de los productos pesqueros. Asimismo, se contemplan nuevas disposiciones institucionales en lo referente a las calidades, estándares, criterios de salud, seguridad, trazabilidad y competencia de estos. Es por ello, que, para algunos, la calidad alimentaria se está convirtiendo en una auténtica barrera de entrada (Hatamaka & Busch, 2008); mientras que, para otros, los aspectos de revalorización están

adscritos a los criterios específicos de un territorio, pues las peculiaridades de su ecosistema permiten incorporar nuevos ingredientes y mantener ciertas condiciones socioculturales ligadas a la historia (Mansfield, 2003; Fonte *et al.* 2006; McMichael, 2009).

En la actualidad, destacan varios rasgos diferenciales: a) la existencia de grandes corporaciones empresariales, que aprovechan la segmentación de los procesos productivos y la reestructuración de las pesquerías nacionales; b) una más intensa competencia, afinada en las estrategias de diferenciación y en la calidad de los productos, más que en los términos de volumen y de los precios de los mismos; c) el mayor poder de los grandes minoristas (supermercados y cadenas de intermediación en lo tocante a las relaciones de mercado; y d) el liderazgo empresarial, basado en el mayor liberalismo comercial y en el fortalecimiento del comercio mundial que influyen en los nuevos patrones y hábitos de consumo. Es decir, estamos en presencia de una inserción, cada vez más intensa, a lo largo de cadenas globales en lo tocante a la producción y a la distribución; a la vez que se asiste a una multiplicación de proveedores, impulsados por las propias corporaciones multinacionales o por el desarrollo de proyectos con menor recorrido mercantil.

Cada vez más, las agencias gubernamentales de regulación son quienes se encargan de verificar la

producción, distribución e inspección. Los propios tratados comerciales entre nacionales permiten el afianzamiento de las normas; por eso, en la actualidad, las grandes corporaciones cobran protagonismo, lo que trasciende sus actuaciones (Österblom *et al.* 2015; Noel, 2013). Las nuevas condiciones de regulación comienzan a definir los nuevos estándares de calidad que, en ocasiones, se convierten en barreras de entrada en el sector. Paralelamente, algunos Estados y Gobiernos regionales definen normas propias con el objetivo de crear nichos de productos propios y abrir nuevos mercados, con el propósito de poder diferenciar y estratificar a los competidores, al afianzar las condiciones de calidad, seguridad alimentaria y eliminación de riesgos.

Si se examina la actual composición del sector se advierte que una parte de la producción artesanal se siente desplazada, debido al resurgir de una industria pesquera manufacturera centrada en productos más procesados, a gran escala, estandarizados, sin un anclaje territorial específico y ofertándose en mercados sin restricciones estacionales respecto a las producciones locales (Fonte, 2002). Estas nuevas tendencias homogeneizadoras permiten difundir diferentes cambios en los hábitos de consumo y, en ciertas circunstancias, alientan distintos paradigmas de la globalización. En ocasiones, hay respuestas por parte de los productores locales que buscan defender

y revalorizar productos alimentarios alternativos vinculados a ciertos rasgos o valores (como la sostenibilidad o las referencias locales, por ejemplo), frente a los productos originarios de procesos industriales.

La regulación, que había sido hasta hace poco tiempo una facultad exclusiva del Estado, pasa a ser “*dirigida*” por el sector privado multinacional, a través de una compleja red de certificados que aseguran y garantizan el cumplimiento de ciertos estándares de calidad y seguridad a través de consorcios y agencias. Los sistemas de etiquetado responden a tres principios. El primero, que los sistemas deben estar asociados a procesos extractivos sostenibles; el segundo, que el aumento de la concienciación de la sociedad ha de ser constante y permanente; y el tercero, que los propios sistemas han de ser un aliciente para soportar costes más altos en los procesos de producción, etiquetado y trazabilidad. La FAO (2009) se centró tanto en las certificaciones de las pesquerías como en las cadenas de custodia. Las certificaciones orientadas a las empresas armonizan estándares y con ello se trasmite a los consumidores que los productos cumplen con los niveles establecidos de calidad, seguridad y que se haya extraído y elaborado teniendo en cuenta los criterios de sustentabilidad, higiene, reglas medio-ambientales y condiciones de trabajo. En consecuencia, las certificaciones se han convertido

en el eje regulador del nuevo régimen alimentario, al imponer a los agentes económicos determinadas concepciones de calidad e inocuidad, que se aplican a lo largo de toda la cadena de proveedores tal y como se exponen en los trabajos de Zepeda *et al.* (2019); y González-Laxe (2019b). En suma, se trata de homogenizar una oferta dispersa; de evitar riesgos asociados con la contaminación y las enfermedades. De ahí que se yuxtapongan dos objetivos: los nuevos requisitos de las empresas y los niveles de calidad de los productos, características ambas que constituyen los ejes de respuesta a las nuevas necesidades y exigencias de los consumidores. No hay, pues, ninguna duda que esta forma de regulación/adaptación evidencia asimetrías entre los distintos países, a la vez que permiten visualizar nuevas realidades de poder dentro de las cadenas del valor de la industria pesquera (Kaplinisky, 2000; González-Laxe *et al.* 2018). Distinguiamos, entonces, dos lógicas: la lógica de la producción y la lógica de la regulación. La primera afecta a las relaciones inter-individuales internas, en una cultura vinculada a un mundo local. La segunda, busca su inserción en un mercado más amplio, en donde predominan las exigencias de transparencia y de una mayor competencia.

Bajo este contexto, la teoría de las convenciones aplicada a las pesquerías pone el acento en la movilización de los actores, en su comportamiento

y en sus influencias. Trata de desarrollar acciones que posean y adquieran el valor de unas normas que sean aceptadas por la cuasi-totalidad de los agentes. Dichos modelos de análisis no son consideraciones jerárquicas, ni son válidos para todas las sociedades. Tampoco son inevitables. Tienen, exclusivamente, sentido en escenarios específicos; es decir, en un tiempo determinado y en una localización concreta. De esta manera, las convenciones pueden justificar acciones en diferentes situaciones y localidades, pues generan interpretaciones capaces de interrelacionar efectos y variables. Por eso, son defendidas como afirma Hernández & Villaseñor (2014) como “acuerdos que se toman en torno a un producto cuando el precio no es suficiente para calificarlo”. Para, de esta forma, justificar el poder operar y sus resultados en múltiples acciones, como manifiesta Ponte (2009).

El proceso de valorización de los productos pesqueros se ha convertido, por consiguiente, en uno de los ejes principales del debate. Las herramientas de cara a lograr una mayor efectividad del proceso se centran, desde hace una década, en las acciones de certificación y eco-etiquetado de los productos del mar. Las certificaciones de estos son el procedimiento por el que un tercero concede una garantía escrita o equivalente de que una pesquería se ajusta a ciertas normas y de que exista una cadena de custodia que

garantiza un procedimiento que posibilita una diferenciación respecto a otros productos y que concede credibilidad a la propia pesquería. Es, por tanto, un distintivo.

A pesar de que la certificación y los sistemas de rastreabilidad son instrumentos consolidados, que se utilizan para verificar la integridad de las cadenas de suministros de los productos, no todos los sistemas tienen por qué poder fusionarse. Existen diferentes sistemas que cubren distintas fases y procesos. Asimismo, los sistemas de certificación pueden ser normales, contractuales o voluntarios, lo que suscita una cierta incertidumbre a la hora de definir y evaluar sus consecuencias.

Las etiquetas son identificaciones que reflejan información, alojando aquellos datos referentes a los lugares de captura, trazabilidad y calidad. Cada vez es mayor la cantidad de pesquerías y de producciones acuícolas que están siendo certificadas. En 2015, la proporción de pesca certificada sobre la producción global ascendió al 14.2%, lo que muestra asimismo una tendencia creciente en los últimos ocho años (Potts & Haward, 2016). Varias características subrayan a las iniciativas encargadas de la certificación pesquera. La mayor parte de estas pertenecen a la sociedad civil o a un partenariado entre la propia sociedad civil y el sector privado de la actividad. Han sido constituidas en los últimos veinte años. Son mayores los porcentajes de

certificación en el mundo de la captura que en el de la acuicultura; y predominan las iniciativas en los países en desarrollo más que en los desarrollados (Cuadro 1).

La certificación es una herramienta política y de negociación comercial en la que se desenvuelve la pesquería. Distinguimos dificultades y oportunidades. Entre los inconvenientes: a) el coste de la certificación, que aumenta a medida que se incrementan

las mejoras en el manejo; b) las exigencias rigurosas en las normas a aplicar, debido a la obligatoriedad de implementar en el proceso de certificación los retos de carácter tecnológico, técnico y de investigación; c) la escasez de promoción de las especies certificadas, en la medida que se efectúa y se limita a las propias organizaciones no gubernamentales (ONG's) y al ámbito de los minoristas; d) el desconocimiento de los certificados, tanto por la propia

Cuadro 1. Distribución de las principales especies pesqueras producidas y certificadas

Table 1. Distribution of the main fish species produced and certified

PESCA DE CAPTURA		ACUICULTURA	
Producción: 92.6 millones de Tns.		Producción: 70.2 millones de Tns.	
Principales países (41.3% del total):	Principales especies (29% del total):	Principales países (79% del total):	Principales especies (67% del total):
China (17%);	Anchoveta (9%);	China (60%);	Carpas (39%);
Indonesia (7%); Perú (6%);	Túnidos (6%);	India (6%);	Almejas (8%);
EEUU (6%);	Bacalao (6%);	Indonesia (5%);	Tilapia (7%);
India (5%).	Sardina (4%);	Vietnam (5%);	Ostras (7%);
	Camarón/gambas (4%)	Bangladesh (3%).	Camarón (6%).
Productos certificados: 18.6 millones de Tns. (20.1% de total), con 7.9 billones \$		Productos certificados: 4.5 millones de Tns. (6.3% del total), con 3.6 billones \$	
Principales estándares: FOS (10.1%); MSC (10.0%).		Principales estándares: ASC (1.0%); GAA/BAP (1.0%); FOS (1.1%); Global A.A. (3.0%); Organic (0.3%); Naturland	
Principales países (70%):	Principales especies (74% del total):	Principales países (68% del total):	Principales especies (88% del total):
Perú (31%);	Anchoveta (36%);	Noruega (25%);	Salmón (56%);
EEUU (19%);	Bacalao (19%);	Chile (19%);	Pangasius (10%);
Noruega (8%);	Túnidos (10%);	España (9%);	Mejillón (8%);
Rusia (6%);	Caballa (5%);	Vietnam (8%);	Tilapia (8%);
Chile (6%).	Salmón (4%).	Italia (7%).	Camarón (6%)

Adaptado de Potts & Haward (2016).

industria pesquera como por los Gobiernos; e) el no guardar relación con las demandas de los consumidores. Y, entre las oportunidades: a) una apuesta por la gobernabilidad y sostenibilidad de las pesquerías; b) la aplicación de una metodología de análisis del riesgo que permite y contribuye a garantizar la sostenibilidad; c) la aplicación de mecanismos que coadyuvan a lograr y conseguir una sostenibilidad responsable y una presencia en los mercados internacionales como productos diferenciados; y d) la creación de nuevos nichos de mercado.

El conjunto de los pescadores busca mejorar la comercialización, la información y la seguridad. A medida que el comercio internacional y el

consumo de productos pesqueros aumentan, las certificaciones se han ido aplicando de manera más rigurosa. La aceptación de estos criterios facilita la creación de un sobreprecio a los productos con etiqueta sobre los no etiquetados (Song-Grudvag *et al.* 2013); estableciéndose distintos criterios a la hora de formular acciones de cara a una mayor valorización (Cuadro 2).

A pesar de estas consideraciones, no todo es fácil. Existen varios obstáculos para su implementación. El primero, es que en las regiones y países en desarrollo es mucho más difícil, en la medida que la política pesquera ha de contemplar derechos de propiedad sobre los recursos (Kaiser & Edward-Jones, 2006). El segundo

Cuadro 2. Fundamentos en el procedimiento de valorización de los productos pesqueros de alta calidad

Table 2. Basics of the procedure to assess high-quality fishery products

Criterio	Dimensión	Efecto
Tipicidad del arte	Define la calidad específica de una especie a través de las técnicas de pesca utilizada y del know-how de los pescadores.	Diferenciación elevada
Reglas de origen de los productos	Define la calidad intrínseca del caladero o zona de pesca	Diferenciación media
Proceso de producción	Define la calidad del trabajo, cualificación y a acreditación de la mano de obra. Enfatiza sobre los criterios de funcionamiento y conservación de los recursos.	Estandarización mediana
Selección del producto	Define la calidad del producto seleccionado. Evalúa las extracciones atendiendo a las condiciones propias del producto.	Estandarización elevada

obstáculo, es que ciertos mercados locales no llegan a ser aptos o idóneos para el interés de los productos certificados, en la medida que en ellos no se obtienen unas economías de escala favorables, ni se concentra una demanda amplia. Y, una tercera dificultad, es que hasta el momento los productos certificados en materia pesquera y acuícola se han orientado hacia especies y mercados ubicados en países desarrollados; subrayando, por tanto, un *gap* comercial muy notable que observa la procedencia de los recursos. Las experiencias de los consumidores indican, por su parte, que cada vez es mayor la existencia de un elevado porcentaje de consumidores que están dispuestos a comprar pescado eco-etiquetado, catalogado como sustentable; que dicha decisión de compra está influenciada por el conocimiento y las características del producto; que existe intención y aceptación de respuestas éticas en el ejercicio de la pesca, el manejo, la conservación y la presentación; y que, finalmente, los consumidores están dispuestos a pagar un precio *premium* por pescado eco-etiquetado (Roheim *et al.* 2011; Song-Grundvag *et al.* 2013; Pérez-Ramírez *et al.* 2015).

No obstante, en ciertos países, EE. UU., Noruega o el Reino Unido, los condicionantes aparecidos son numerosos y se concentran en tres rasgos: a) los sistemas eco-etiquetados están condicionados por las especies y las regiones geográficas; b) están

determinados por las características y rasgos de los consumidores; y c) están diferenciados por la reputación de las organizaciones científicas.

De esta manera, los escenarios posibles se delimitan a tres supuestos:

- a) Escenario a favor. Cuando las condiciones ideales supongan: obtener certificados en el menor tiempo posible; que existan campañas y acciones de promoción y mejora de la reputación; y, que los costes relacionados con la implementación sean financiables debido a que la inversión sea menor que la ganancia.
- a) Escenario actual. Cuando se vuelvan a recalcar las condiciones vigentes; esto es, mayores presiones del consumidor y del propio mercado hacia productos etiquetados y certificados; cuando se mantenga la reputación y una mediana presión de los intermediarios; y cuando no haya sobrepresiones; pero sí prestigio.
- a) Escenario en contra. Cuando los factores externos sean mínimos y, por lo tanto, los incentivos sean menores a los costes de certificación.

¿Cuáles son, en consecuencia, las claves principales en un contexto de mayor competencia y rivalidad? A modo de síntesis, la presión de los intermediarios (es decir, las cadenas de suministro y distribución); la presión de los grupos de pescadores y de las

ONG; y el comportamiento de los precios al consumidor que vienen muy condicionados por el conocimiento/desconocimiento del producto y por el interés/desinterés por adquirir un producto diferenciado. En consecuencia, la certificación pesquera incide de manera muy directa en las políticas de conservación y ordenación pesquera;

siendo complementaria de las medidas de gestión. Sin embargo, subsiste bastante confusión en torno a la aplicación de los diferentes sistemas de certificación, ya sea promovido por los organismos de certificación, ya sea derivado de una aplicación nacional o internacional (Christian *et al.* 2013). (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadro de indicadores y marcos de actuación de los productores
 Table 3. Indicators and action framework of producers

Indicadores	Marcos de actuación	Productos a verificar	Ventajas	Inconvenientes
Certificación de calidad	Actuación colectiva	Transformados Acuicultura	Reconocimiento de nichos de mercado. Productos territorializados.	Procedimiento prolijo. En ocasiones no responde a las demandas.
Marca colectiva	Actuación colectiva	Pesca. Transformados Acuicultura	Marcas globales. Desarrollo de la integración en cadenas. Productos territorializados	Posibles restricciones sobre el origen del producto. Sin reconocimiento oficial.
Marca independiente	Actuación individual	Pesca. Transformados Acuicultura	Identificación del productor. No existe especificación	Dificultad de enraizar la marca. Elevado gasto en comunicación y <i>marketing</i> .
Etiquetas ecológicas	Actuación mixta	Pesca	Mercados singulares y demandas propias	Diversidad de etiquetas. Elevado coste de la certificación.
Acuicultura ecológica	Actuación individual	Acuicultura	Mercados singulares y demandas propias	Complejidad en el cumplimiento de las especificaciones.

CONCLUSIONES

El panorama pesquero mundial muestra dinámicas significativamente contradictorias (Le Roux & Noel, 2007). Por una parte, una atomización relativa de los espacios de producción (dadas las mayores y diferentes condiciones de acceso a los lugares de pesca y a la vigorización de la actividad pesquera en determinados países en desarrollo) y una fuerte concentración de los espacios de consumo en los países occidentales. De otra parte, una intensa mundialización de los flujos comerciales que refuerzan las tendencias asimétricas. Es decir, no existe un sistema-mundo unificado en materia pesquera (Noel, 2013). Dicho en otras palabras, el sistema-mundo pesquero se presenta como un sistema de desigualdades continuas en todos los espacios de análisis en donde los polos de crecimiento acumulan riquezas o niveles de concentración más fuertes que tapan las capas de pobreza y de exclusión de determinadas áreas y territorios.

La globalización pesquera tiende a englobar a todos los espacios y escalas (ya sea superiores o inferiores) en un mismo movimiento de unificación e inserción (a través de los flujos comerciales y por medio de los actores) y al mismo tiempo trata de uniformizar los modelos de producción y de consumo. Con ello no se puede llegar a afirmar que dicho proceso sea universal, ya que tales dinámicas se inscriben en

procesos inestables, contradictorios, de des-estructuración productiva y de estructuración de espacios; lo que permite entrever una dinámica un poco caótica del planeta océano en su concepto de articular espacios, territorios y redes.

Bajo esta concepción, las tensiones en el seno del sistema pesquero mundial son constantes e intensas; generando situaciones de incertidumbre y de complejidad, derivadas de las interacciones existentes entre las variables (Mahon *et al.* 2008). La globalización del sistema pesquero subraya la fuerte inter-acción entre el sistema mundo haliéutico con el sistema-tierra, que sirve de soporte espacial. De ahí la necesidad de abrir los debates a las escalas espaciales y temporales, a las nuevas cuestiones relacionadas con la gobernanza y a las acciones tendentes hacia una mejor regulación de las actividades marítimas que incluyan la gestión de los recursos y de los espacios donde reposan estos (Cole, 2003).

Finalmente, en el actual funcionamiento del sector pesquero se conforman seis tipos de convenciones sociales en torno a los productores: a) las organizativas (en función de la asociación de productores) que visualizan los rasgos y la actitud de voluntariedad respecto a la unión de los productores; y muestran rigidez en cuanto a las normas; b) las representativas (como instrumento de negociación y órgano de consulta) que ayuda a la toma de

decisiones y definen los criterios de adopción de los agentes, que delimitan tanto los incluidos como los excluidos; c) las reivindicativas, esto es, aquellas que reflejan evaluación, transparencia y exigencias ante los problemas planteados y suscitados en el quehacer cotidiano o estratégico; d) las comerciales, con sus estrategias ofensivas y defensivas, dirigidas a reforzar las ventajas diferenciales y a aminorar las desigualdades de los factores de producción; e) las referidas a los procesos de certificación, que provocan ventajas comparativas en los mercados diferenciales, al limitar las barreras de entrada; y f) las aplicadas a la sostenibilidad y la defensa de los bienes comunes, que buscan la prevalencia de los contenidos basados en la preservación más que los objetivos de producción.

En consecuencia, el proceso de gestión pesquera supone abordar una triangulación entre la administración pública; los profesionales o agentes; y los científicos. Entre los dos primeros existe un flujo relativo de comunicación relativo a las acciones a adoptar. Entre los profesionales y los científicos se contabiliza un flujo de información y de transmisión de datos. Y, por último, entre los científicos y la administración se localiza el flujo de los consejos. Sin embargo, la mencionada triangulación no siempre es correcta y genera resultados óptimos.

REFERENCIAS

- Berkes, F. & Nayak, P. K. (2018). Role of communities in fisheries management: “one would first need to imagine it”. *Maritime Studies*, 17, 241-251.
- Bessy, C. (2006). La place de l’intersubjectivité et du commun dans l’économie des conventions. En F. Eymard-Duverbay (dir.). *L’économie des conventions, Tome I. Débats*. Francia. La Découverte.
- Boltanski, L. & Thevenot, L. (1991). *De la justification. Les économies de la grandeur*. Francia. Ed. Gallimard.
- Boyer, R., Orléan, A. (2004). Persistence et changement des conventions. Deux modèles simples et quelques illustrations. En A. Orléan (dir.), *Analyse économique des conventions* (pp. 243-271) Francia. Presses Universitaires de France.
- Christian, L., Ainley, D., Baileye, M., Dayton, P., Holevar, J., Levinef, M., ... & Jacques, J. (2013). A review of formal objections to MSC Fisheries Certification. *Biol. Conserv.*, 161, 10-17.
- Cole, H. (2003). Contemporary challenges: globalisation, global interconnectedness and that are not plenty more fish in the sea. Fisheries, governance and globalisation: is there a relationship. *Ocean Coastal Manag.*, 46(1-2), 77-102.
- Espinosa, A. & Sánchez, J. L. (2013). El mercado español del bacalao en salazón: una aproximación regional desde la geografía de las convenciones. *Estudios Geográficos*, 74(275), 439-467.
- FAO. (2009). *Directrices para el etiquetado de pescado y productos pesqueros de la pesca de captura marina*. Roma. FAO.
- Fonte, M. (2002). Food Systems consumption models and risk perceptions in

- late moderning. *Int. J. Sociol. Agric. Food*, 10(1), 13-21.
- Fonte, M., Acampora, T. & Sacco, V. (2006). *Desarrollo rural e identidad cultural: reflexiones teóricas y casos empíricos*. Chile. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural.
- González-Laxe, F. (2015). Cuestiones biológicas y económicas para explicar ciertas incongruencias de la política pesquera de la Unión Europea. *CICIMAR-Océanides*, 30(2), 13-25.
- González-Laxe, F. (2019a). Pescadores migrantes: análisis de su dinámica e inclusión social. *Rev. Est. Econ. Apl.*, 37(3). 18-30.
- González-Laxe, F. (2019b). Análisis de las controversias respecto al etiquetado. En G. Ponce & F. González-Laxe. *Gobernanza Pesquera* (pp.181-213). México. Instituto Politécnico Nacional.
- González-Laxe, F., Martín, F., Novo, I., Martín-Palmero, F. (2018). A global industry fishery. *Ocean Coastal Manag.*, 50, 73-82.
- Goodman, D. (2003). The quality “turn” and alternative local practices: reflections agenda. *J. Rural Stu.*, 19, 1-17.
- Hatamaka, M. & Bush, L. (2008). Third-Party certification in the global agrifood system: an objective or social mediated governance mechanism. *Sociología Ruralis*, 48(1), 73-91.
- Hernández, M^a. & Villaseñor, A. (2014). La calidad en el sistema agroalimentario globalizado. *R. Mexicana Soci.*, 76(4), 557-582.
- Jentoft, S., Bavinck, M., Alonso-Población, E., Child, A., Diegues, A., Kalikoski, D., ... & Solís, V. (2018). Working together in small-scale fisheries: harnessing collective action for poverty eradication. *Mar. Stu.*, 17. 1-12.
- Johnston, R. I, Wessels, C. R., Donath, H. & Asche, F. (2001). Measuring Consumer preference for ecolabeled seafood an international comparison. *J. Agri. Resour. Econ.*, 26(1), 20-39.
- Kaiser, M. J. & Edward-Jones, E. (2006). The role of ecolabeling in fisheries management and conservation. *Cons. Biol.*, 20(2), 392-398.
- Kaplinsky, R. (2000). Globalization and unequalization: what can be learned from value chain analysis? *J. Dev. Stud.*, 37(2), 117-146.
- Le Roux, S. & Noël, J. (2007). Mondialisation et conflits autour des ressources halieutiques. *Ecol. Polit.*, 34, 69-82.
- Mahon, R., Mc Conney, P. & Roy, R.N. (2008). Governing fisheries as complex adaptative systems. *Mar. Policy*, 32(1), 104-122.
- Mansfield, B. (2003). Spatializing globalization: geography of quality in the seafood industry. *Econ. Geography*, 79, 1-16.
- McMichael, P. (2005). Global development and the corporate food regime. *New Dir. Sociol. Global Dev.*, 11, 269-303.
- McMichael, P. (2009). A food regimen genealogy. *J. Peasant Stu.*, 36(1), 139-169.
- Noel, J. (2013). Le système monde aquatique: panorama géographique d'une filière globalisée. *Inform. Géol.*, 77(1), 76-100.
- North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economics Performance*. EE. UU. Cambridge University Press.
- OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2010). *Globalisation in fisheries and aquaculture. Opportunities and challenges*. Paris. OECD Publishing.
- Omstrom, E. (1999). *Governing the commons: the evolution of Institutions for Collective Action*. EE. UU.: Cambridge University Press.
- Orléan, A. (1989). Pour une approche cognitive des conventions, En J. P. Dupuy,

- F. Eymard-Duvernay, O. Favereau, A. Orléan, R. Salais & L. Thévenot, (Eds.) *L'économie des conventions*, *Revue Économique*, 40(12), 341-372.
- Österblom, H., Jouffray, J. B., Folke, C., Crona, B., Troell, M., Merrie, A. & Rockström, J. (2015). Transnational corporations as 'Keystone Actors' in Marine Ecosystems. *PLOS One*, 10(5). e0127533. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127533>
- Parrot, N., Wilson, N. & Murdoch, J. (2002). Spatializing quality: regional protection and the alternative geography of food. *Eur. Urban Reg. Stud.*, 9, 241-261.
- Pauly, D. (2018). A vision for marine fisheries in a global blue economy. *Marine Policy*, 87, 371-374.
- Pérez-Ramirez, M., Castrejón, M., Gutiérrez, N. & Defo, O. (2015). The MSC certification in Latin-America and the Caribbean: a review of experiences potentials and pitfalls. *Fis. Res.*, 182, 50-58.
- Pérez-Ramirez, M., Phillips, B., Lluch-Belda, D. & Lluch-Cota, S. (2012). Perspectives for implementing fisheries certification in developing countries. *Mar. Policy*, 36, 297-302.
- Ponte, S. (2009). Governing through quality: conventions and supply relations in the value chain for South African wine. *Sociologia Ruralis*, 49(3), 236-257.
- Potts, J. & Haward, M. (2016). *State of Sustainability Initiatives review: standards and the Blue Economy*. Canadá. IISD/IIED/FAST.
- Roheim, C. A., Asche, F. & Insignares, J. (2011). The elusive price Premium for ecolabelled products: evidence from seafood in the UK market. *J. Agr. Econ.*, 62, 655-668.
- Salais, R. & Storper, M. (1992). The four worlds of contemporary industry. *Cambridge J. Econ.*, 16,169-193.
- Salas, S. & Gaertner, D. (2004). The behavioural dynamics of fishers: management implications. *Fis. Fish*, 5, 153-167.
- Song-Grudwag, G., Larsen, T. & Young, J. (2013). The value of line-caught and other attributes: an exploration of price premium for chilled fish in UK super-markets. *Mar. Policy*, 38, 41-44.
- Song, A., Johnsen, J., Morrison, T. (2018). Reconstructing governability: How fisheries are made. *Fis. Fish.*, 19, 377-389
- Wilkinson, J. (2010). Economic and agro food studies in Brazil: combining social networks, convention and social movements approaches. *Econ. Soc.*, 11(2), 23-32.
- Zepeda, J. A., Vergara, M., Gómez, A., Espinosa, M., Espinoza, A. & López, A. (2019). Beneficios de las etiquetas en pesquerías en vías de desarrollo: capítulo México. En G. Ponce & F. González-Laxe (Eds.), *Gobernanza Pesquera* (pp.163-180). México. Instituto Politécnico Nacional.

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La *Revista Ciencias Marinas y Costeras* es una revista anual del Programa de Maestría en Ciencias Marinas y Costeras (Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional), de divulgación científica y que publica:

- Artículos científicos (originales e inéditos)
- Notas científicas (comunicaciones cortas) y
- Reseñas bibliográficas

El Comité Editorial solicita a los autores cumplir las siguientes instrucciones:

a) **Formato general**

- Idioma: Español o inglés, resumen en ambos idiomas,
- Letras: Títulos de sección: Times New Roman 14
Textos: Times New Roman 12
Títulos de figuras y cuadros, autores y palabras claves: Times New Roman 11
Resumen y abstract: Times New Roman 10
- Texto: A doble espacio; cada párrafo con sangría inicial de 5 caracteres. No incluye el resumen y abstract.
- Extensión máxima: *Artículos científicos*: Un máximo de 25 páginas incluyendo figuras y cuadros. Solo en casos justificados ante el Comité Editorial se aceptarán artículos con extensiones mayores.
Nota científica: Máximo de 6 páginas.
Reseña: Máximo de 3 páginas.
- Márgenes: Superior: 3 cm
Inferior: 2.5 cm
Izquierdo: 3 cm
Derecho: 2.5 cm

Las abreviaturas utilizadas deben ajustarse al Sistema Internacional de Unidades (m, km, g, mg, %, PSU, °C). Todas las cifras decimales deberán separarse con punto y no con coma.

No se incluirán notas al pie de página o anexos, únicamente se incluirá el material complementario cuando sea indispensable.

b) Estructura general del Artículo Científico

- *Título del artículo:* Centrado, en negrita, en español e inglés, mayúscula y letra tamaño 14. Se debe dejar un espacio sencillo entre el título y los autores.
- *Autor (es):* Letra Times New Roman 11. Nombre y apellidos en cursiva, justificado e indicando la filiación institucional (utilizar superíndices con números), lugar de trabajo o dirección física, y correo electrónico. Se debe indicar la filiación de todos los autores, anotando quién es el autor encargado de la correspondencia, y marcándolo con un asterisco. Se debe dejar un espacio sencillo entre el (los) autor (es) y el Resumen.
- Los títulos de las secciones deben colocarse en el margen izquierdo (**INTRODUCCIÓN, MATERIALES Y MÉTODOS, RESULTADOS, DISCUSIÓN, AGRADECIMIENTOS Y BIBLIOGRAFÍA**). Los títulos de las secciones deben escribirse utilizando mayúsculas y negrita, y dejando un espacio para comenzar el texto. No debe haber espacio entre párrafos de una misma sección.
- *Resumen:* Cada artículo deberá estar precedido por un resumen en español y en inglés. Cada resumen no debe exceder las 250 palabras.
- *Palabras claves:* A cada uno de los resúmenes le seguirán las palabras claves (máximo cinco) representativas del contenido del artículo.
- *Introducción:* Debe explicar la finalidad del artículo, y plantear y justificar el problema de investigación. Además, debe incluir información específica sobre antecedentes del tema en estudio, así como el estado del tema a abordar.
- *Materiales y Métodos:* Se presenta la metodología empleada y toda la información necesaria para que el trabajo sea repetible. Se puede también sustentar la selección de los métodos empleados.
- *Resultados:* Se presentan en forma de texto. Se pueden incluir los datos utilizando cuadros y figuras (cuando se requiera). Los cuadros y las figuras deberán ser numerados consecutivamente, y contar con títulos apropiados al contenido (en español e inglés); no se deberán usar negritas, y se acentuarán

tanto las minúsculas como las mayúsculas. Se deberá citar el origen de los datos que contienen, y deberán estar mencionados en el texto. No deben incluirse datos o ilustraciones que no tengan relación con el texto.

Título de Cuadros: Deben ser escritos a doble espacio; se deben evitar las líneas verticales, y utilizar líneas horizontales únicamente cuando separen campos de información (encabezados, subencabezados, campos inferiores o intermedios independientes tales como subtotales). El título debe colocarse en la parte superior del cuadro, en minúscula y sin negrita.

Título de Figuras: Deben ser escritos a doble espacio. El título debe colocarse en la parte inferior de la figura, en minúscula y sin negrita.

Los cuadros y figuras deberán enviarse con una reducción apropiada (hasta 60%), y sus elementos deberán tener el tamaño necesario para permitir su fácil lectura; el tamaño de las letras y el grosor de las líneas deben serlos apropiados para que sean visibles y claras cuando se efectúe una reducción. La tipografía ya reducida no deberá ser menor de 8 puntos. Es posible incluir en el manuscrito dibujos y/o fotografías; en el caso de las fotografías, la revista asumirá el costo de publicar las en blanco y negro; en caso contrario, el autor deberá asumir los costos.

Formato de las imágenes: El autor debe preparar sus figuras y cuadros muy cuidadosamente, ya que suelen ser la causa de atrasos en la revisión de los manuscritos y en el proceso de diagramación. Independientemente de la aplicación utilizada, cuando se incluyan imágenes o cuadros de forma electrónica, se deben guardar o convertir las imágenes a uno de los siguientes formatos:

EPS: Dibujos vectoriales. Se debe incrustar la fuente o guardar el texto como gráficos.

TIFF: Fotografías en color o en escala de grises (semi-tonos); siempre usar un mínimo de 300 dpi.

TIFF: Dibujos de mapas de bits; se debe usar un mínimo de 1000 dpi.

TIFF: Combinaciones de línea de mapa de bits / medio tono (color o escala de grises); es necesario el uso de un mínimo de 500 dpi.

DOC, XLS o PPT: Si las imágenes o los cuadros fueron creados en cualesquiera de estas aplicaciones de Microsoft Office®, debe de indicarlo.

Los cuadros y figuras deben entregarse por separado.

- *Discusión:* El autor deberá discutir los resultados más relevantes haciendo uso de las referencias pertinentes y actualizadas. Es permitida una sola sección de Resultados y Discusión
- *Conclusiones:* Toda conclusión debe estar sustentada con los datos presentados y discutidos, y en estricta consonancia con el propósito del artículo. Cuando se trata de una síntesis de los descubrimientos, en esta sección se pueden incluir propuestas, a criterio del autor.
- *Agradecimientos:* Deben reflejar una apreciación auténtica hacia quienes han colaborado en la investigación.
- *Bibliografía:* Las referencias bibliográficas deben ajustarse a lo establecido en las normas de la “American Psychological Association (APA), disponibles en el vínculo de la página de la revista (www.una.ac.cr/revmar).

Publicaciones periódicas. Las publicaciones periódicas son aquellas que aparecen con cierta regularidad: diarios, revistas, boletines ilustrados y otros semejantes. El formato requerido es el siguiente:

Autor, A. A., Autor, E. E. & Autor, C. C. (Año de publicación). Título del artículo. *Título de la revista científica en cursiva y correctamente abreviado según las normas de la ISI*, Volumen (número entre paréntesis), página inicial y final separadas por un guion.

Tomasko, D. A. & Lapointe, B. E. (1991). Productivity and biomass of *Thalassia testudinum* as related to water column nutrient availability and epiphyte levels: field observations and experimental studies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 75(3), 9-17.

Publicaciones no periódicas. Las publicaciones no periódicas son las que se publican por separado: libros, informes, folletos, ciertas monografías, manuales y medios audiovisuales. Los formatos requeridos son los siguientes:

Autor, A. A. (Año de publicación). *Título del trabajo*. Localidad: Editorial.

Libro:

Robinson, D. N. (1992). *Social discourse and moral judgment*. San Diego, CA, EE.UU.: Academic Press.

Capítulo de libro:

O'Neil, J. M. & Egan, J. (1992). Men's and women's gender role journeys; Metaphor for healing, transition, and transformation. En E. R. Wainrib (Ed.), *Gender issues across the life cycle* (pp. 107-123). New York, EE.UU.: Springer.

Memoria de congreso:

González, R., Calvo, A., Benavides, G. & Casullo, M. (1998, noviembre). *Evaluación de la conducta social de Aratus pisonii*. Ponencia presentada en el Congreso Latinoamericano de Carcinología, Salamanca, España.

Página Web:

Dewey, R. A. (2002). La torsión en los gastrópodos: una revisión. Recuperado en enero 25, 2003, disponible en <http://www.gpa.orljournalsljacobson.html>

Artículo de revista electrónica:

Jacobson, J. W., Mulick, J. A. & Schwartz, A. A. (1995). A history of facilitated communication: Science, pseudoscience, and antiscience: Science working group on facilitated communication. *American Psychologist*, 50, 750-765. Recuperado en enero 25, 1996, disponible en <http://www.gpa.orljournalsljacobson.html>

Procedente de una base de datos en CD-ROM:

Schneiderman, R. A. (1997). Librarians can make sense of the Net. *San Antonio Business Journal*, 11(3). Recuperado en enero 27, 1999. De la base de datos EBSCO (Masterfile), disponible en <http://www.ebsco.com>

Tesis:

Wilfley, D. E. (1989). *Interpersonal analysis of bulimia: Normal-weight and obese*. Tesis de doctorado no publicada, University of Missouri, Columbia.

Comunicaciones no publicadas: No deben ser incluidas en las referencias, solo se nombran en el texto del trabajo. Es necesario incluir al lado de la cita la persona que suministra la información, el medio y la fecha. Ej.: "La coloración de *A. similis* varía con los periodos de lluvia" (C. Fonseca, comunicación personal, Junio 29, 2000).

c) **Estructura general de la Nota Científica:**

Se utilizan los mismos criterios que para el Artículo Científico en lo que respecta al Título del artículo, Autor (es), Resumen, Abstract y Palabras claves. Sin embargo, para las notas científicas cada resumen no deberá exceder las 70 palabras.

- Los títulos de las secciones deben colocarse en el margen izquierdo (**INTRODUCCIÓN, MATERIALES Y MÉTODOS, RESULTADOS, DISCUSIÓN, AGRADECIMIENTOS Y BIBLIOGRAFÍA**). Los títulos de las secciones deben escribirse utilizando mayúsculas y negrita, y dejando un espacio para comenzar el texto. No debe haber espacio entre párrafos de una misma sección.
- *Introducción:* Enmarcar sucintamente el problema a resolver y el objetivo con un sustento teórico. El texto deberá escribirse de manera continua y sin espacio entre párrafos.
- *Cuadros y Figuras:* Deberán seguir el mismo formato que en los artículos científicos.
- *Agradecimientos:* Se pondrán como último párrafo, sin encabezado. Los nombres “oficiales” no se deben traducir.
- *Bibliografía:* Deberá seguir el mismo formato que en los artículos científicos.

d) **Estructura general de una Reseña Bibliográfica:**

Plantea una revisión bibliográfica de un determinado ámbito de estudio relacionado con la temática que la revista. Puede repasar los expositores más relevantes, sus ideas principales y sus aportes. Puede hacer análisis y comentarios basados en afirmaciones objetivas y sustentadas.

- *Partes del artículo de revisión bibliográfica*
 - Título (en español e inglés).
 - Filiación.
 - Palabras claves (en español e inglés).
 - Resumen (en español e inglés). En este apartado debe incluir:
 - Plantea el objetivo del estudio.
 - Expone la temática que aborda y su trascendencia.
 - Especifica los periodos o etapas de la información bibliográfica objeto del análisis.

- Presenta los principales criterios para analizar la información bibliográfica tratada.
- Presenta los principales hallazgos, conclusiones.
- Presenta las principales aplicaciones, implicaciones o recomendaciones.
- Incorpora la información necesaria que oriente al lector/a a identificar del contenido básico del escrito de forma rápida y a determinar su relevancia. Es autosuficiente semánticamente.
- Introducción (plantea el objetivo o problemática que motivó la revisión y los criterios de organización del discurso).
- Desarrollo: especifica el análisis bibliográfico · Conclusiones o discusiones y pendientes.

e) **Etapas que siguen los manuscritos:**

1. Frecuencia de publicación

La publicación de la **REVMAR** es semestral, en un volumen con la publicación del primer número del 01 enero - 30 junio y el segundo número del 01 julio - 31 diciembre

2. Fecha de recepción de artículos

La recepción de artículos permanecerá abierta todo el año.

3. Forma de entrega

La primera versión del manuscrito puede ser enviada en forma digital vía Internet, junto con la [carta de originalidad y cesión de derechos de autor](#) adjunto debidamente llenado y firmado por todas las personas autoras, utilizando los correos: revmar@una.cr o revcienmarycos@gmail.com. Alternativamente puede ser enviada vía correo postal a las siguientes direcciones:

Licda. Nidya Cecilia Nova Bustos Editora Revista Ciencias Marinas y Costeras Maestría en Ciencias Marinas y Costeras Universidad Nacional Apartado Postal 86-3000 Costa Rica	M. Sc. Luis Villalobos Chacón Director Revista Ciencias Marinas y Costeras Maestría en Ciencias Marinas y Costeras Universidad Nacional Apartado Postal 86-3000 Costa Rica
--	--

El contenido de la *Carta de originalidad y cesión de derechos de autor*

1. El artículo es original e inédito: esto es, constituye una producción intelectual propia de la(s) persona(s) arriba indicada(s) y no ha sido divulgado a terceros(as) de forma pública, por ningún medio de difusión impreso o digital.
2. El artículo no ha sido postulado simultáneamente para su publicación ante otra revista impresa, electrónica ni en ningún otro medio escrito u órgano editorial. En caso de que antes hubiere sido sometido a evaluación de otra revista, se debe explicar la causa por la que no se aceptó, e indicar el correo electrónico de la revista a que fue sometido originalmente.
3. El autor (es) no ha(n) suscrito con anterioridad ante terceros contratos de cesión de derechos patrimoniales o licencias de uso en relación con los derechos de propiedad intelectual que ostentan sobre el artículo postulado que les impida cederlos por medio de este acto.
4. En caso de artículos elaborados como obras en colaboración –bien se trate de obras en las que los autores(as) tienen el mismo grado de participación o aquellas en las que existe una persona autora principal y una o varias personas autoras secundarias–, todos(as) ellos(as) han contribuido intelectualmente en la elaboración del documento.
5. En caso de artículos elaborados como obras en colaboración (según se especificó en el punto 4), en relación con el reconocimiento que se realiza respecto de los niveles de participación asignados por los(as) autores(as) del artículo, estos(as) liberan de responsabilidad a la Revista Ciencias Marinas y Costeras.
6. En caso de artículos elaborados como obras en colaboración, todos(as) los(as) autores(as) han leído y aprobado el manuscrito postulado. En este entendido, los(as) autores(as) abajo firmantes designamos a _____ como encargado(a) de recibir correspondencia y con autoridad suficiente para representar, en condición de agente autorizado(a) a los demás autores(as). Denominado autor correspondencia.
7. Reconoce(n) que la Revista no comparte necesariamente las afirmaciones que en el artículo se plantean.
8. Manifiesta(n) que todos los datos de **citas** dentro de texto y sus respectivas **referencias** tienen la fuente y el crédito debidamente identificados.
9. Aporta(n) los permisos o autorizaciones de quienes poseen los derechos patrimoniales para el uso de tablas y figuras (ilustraciones, fotografías, dibujos, mapas, esquemas u otros) en el escrito.
10. En caso de que el artículo postulado sea aceptado para su publicación, permite(n) la cesión GRATUITA, EXCLUSIVA, DE ÁMBITO MUNDIAL Y POR PLAZO INDEFINIDO de su(s) derecho(s) patrimonial(es) de autoría a la Universidad Nacional (Costa Rica), lo que implica lo siguiente:
 - a. La edición gráfica y de estilo de la obra o parte de esta.
 - b. La publicación y reproducción íntegra de la obra o parte de esta, tanto por medios impresos como electrónicos, incluyendo Internet y cualquier otra tecnología conocida o por conocer.
 - c. La traducción a cualquier idioma o dialecto de la obra o parte de esta.

- d. La adaptación de la obra a formatos de lectura, sonido, voz y cualquier otra representación o mecanismo técnico disponible, que posibilite su acceso para personas no videntes parcial o totalmente, o con alguna otra forma de capacidades especiales que les impida su acceso a la lectura convencional del artículo.
 - e. La distribución y puesta a disposición de la obra al público, de tal forma que el público pueda tener acceso a ellas desde el momento y lugar que cada quien elija, a través de los mecanismos físicos o electrónicos de que disponga.
 - f. Que la obra sea distribuida a través de la licencia Creative Commons BY- NC-SA versión 4.0, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar, generen obras derivadas y distribuir la versión final aprobada y publicada (post print) del artículo, siempre y cuando se realice sin fines comerciales, y se mencione la fuente y autoría de la obra.
 - g. Cualquier otra forma de utilización, proceso o sistema conocido o por conocerse que se relacione con las actividades y fines editoriales a los cuales se vincula la Revista.
11. Derechos de reutilización: A su vez, la UNA les concede a los AUTORES el derecho de reutilizar para cualquier propósito y poder publicar en internet o cualquier sitio electrónico, la versión final aprobada y publicada (post print) del artículo, siempre y cuando se realice sin fines de lucro.
 12. Acepta(n) que, con su colaboración, el artículo presentado sea ajustado por el equipo de edición de la Revista, a las “[Instrucciones para autores/as](http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/revmar)” previamente establecidas y publicadas en el sitio web oficial de la Revista (<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/revmar>); en cuanto a procedimientos, formato, corrección, edición, publicación, duración del proceso editorial y otros requerimientos solicitados en dichas normas.
 13. Aceptan, que la revista se reservará el derecho de retirar, o bloquear en forma expedita el acceso a las publicaciones almacenadas en sus plataformas virtuales al momento de obtener conocimiento efectivo de una denuncia interpuesta por un tercero por presunta infracción de sus derechos de autor.
 14. De conformidad con la Ley N° 8968, ley de protección de la persona frente al tratamiento de sus datos personales, el AUTOR consiente en facilitarle a la Revista un correo electrónico de contacto, así como los datos personales necesarios para la identificación de la autoría del artículo: _____. A su vez, autorizan a la Revista a publicar junto con el artículo, los datos personales necesarios (nombre y apellidos, institución, ciudad/país, correo y el número ORCID). Cualquier otro dato personal distinto al indicado anteriormente, será resguardado por la Revista con absoluta confidencialidad y no podrá ser divulgado ni transferido a terceros sin consentimiento del AUTOR.
 15. Admiten(n) que la postulación y posible publicación del artículo en la *Revista Ciencias Marinas y Costeras* se regirá por las políticas editoriales de esta, la normativa institucional de la Universidad Nacional y la legislación de la República de Costa Rica. Adicionalmente, que en caso de cualquier eventual diferencia de criterio o disputa futura, esta se dirimirá de acuerdo con los mecanismos de Resolución Alternativa de Conflictos y la Jurisdicción Costarricense.

Los artículos aceptados por la *Revista Ciencias Marinas y Costeras* pasan a ser propiedad de esta, respetándose los derechos de autor y producción correspondientes. No se devolverán los originales.

4. Sistema de arbitraje

Los manuscritos que cumplan con los objetivos temáticos de la revista y se ajusten al formato indicado serán enviados a al menos dos evaluadores externos, quienes revisarán el documento siguiendo la metodología de “doble ciego” y harán las recomendaciones para mejorarlos o los calificarán como inaceptables. El comité editorial devolverá al autor las observaciones recibidas por parte de los evaluadores. Si el artículo es aceptado, pero sujeto a modificaciones, se le dará un plazo definido al autor para realizarlas y volver a someter a consideración el manuscrito.

5. Pruebas y reimpresos

Luego del proceso de corrección, edición y aceptación final del manuscrito, el autor recibirá la prueba final de digital, por vía electrónica y en formato PDF antes de la publicación del artículo. Por lo anterior, los autores serán los responsables de la revisión final, efectuando los cambios mínimos necesarios, y corrigiendo los errores de digitalización que puedan existir. Los autores deberán devolver la prueba de galera en un plazo máximo de una semana a partir de su fecha de recepción. El retraso en la devolución de las pruebas podría implicar la publicación del trabajo sin las correcciones del autor.

Título del artículo: en español e inglés. Centrado, en negrita, mayúscula, letra Times New Roman 14, doble espacio.

**EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE
ESCHERICHIA COLI EN *CRASSOSTREA GIGAS*...**
**EVALUATION OF *ESCHERICHIA COLI*
CONCENTRATIONS IN *CRASSOSTREA GIGAS* ...**

Se debe dejar un espacio sencillo entre el título y los autores

Autor (es): Nombre y apellidos en cursiva, letra Times New Roman 11, doble espacio, justificado.

Luis A. Vega Corrales^{1} y Carolina Marín Vindas¹.*

¹Estación de Biología Marina Juan Bertoglia Richards, Universidad Nacional, Costa Rica. luis.vega.corrales@una.cr*

Indicar el correo electrónico del autor encargado de la correspondencia. Marcar con un asterisco.

Dejar un espacio sencillo entre el (los) autor (es) y el Resumen

Títulos de sección (Resumen, Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Agradecimientos, Bibliografía): margen izquierdo, en negrita, mayúscula, letra Times New Roman 14.

RESUMEN

Costa Rica no cuenta con referencias sobre la calidad sanitaria de las zonas de cultivo de *Crassostrea gigas* y esto puede representar un riesgo para la salud pública...

Resumen: en español e inglés. Letra Times New Roman 10, justificado, espacio sencillo. Extensión máxima: 250 palabras

Subtítulo de palabras claves: en negrita, letra Times New Roman 11. Mínimo y máximo 5 palabras claves, así lo están exigiendo las bases de datos

Palabras claves: Contaminación marina, maricultura, *Escherichia coli*, *Crassostrea gigas*, Costa Rica.

ABSTRACT

Costa Rica does not have references on health quality of harvesting zones of *Crassostrea gigas*, which can pose a potential public health risk...

Keywords: Marine pollution, mariculture, *Escherichia coli*, *Crassostrea gigas*, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marinos son vulnerables a la contaminación antropogénica. Según Halpern *et al.* (2008), no existen zonas marino costeras que no estén impactadas por la influencia humana...

Texto: letra Times New Roman 12, doble espacio, justificado. Se acentuarán tanto las minúsculas como las mayúsculas. Cada párrafo con sangría inicial de 5 caracteres. No deben haber espacios entre párrafos de una misma sección.

...Estudios recientes han demostrado que las condiciones de las zonas de cultivo de moluscos bivalvos dependen, entre muchos otros factores, de las condiciones climatológicas y estacionales del área (Peterson, 1960; CITES, 2011; Campos *et al.* 2013b; Derolez *et al.* 2013; Lee & Silk, 2013; Mignani *et al.* 2013).

Cita para publicaciones de 1 autor.

Cita para publicaciones de más de 2 autores.

Cita para diferentes publicaciones del mismo autor y año.

Cita para publicaciones de 2 autores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó la contaminación por *E. coli* en las zonas de cultivo de ostras de Punta Cuchillo (9°49' 48" N y 84°52' 48" O) y de Punta Morales (10°4' 84" N y 84°58' 37" O), ubicadas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica (Fig. 1).

Los cuadros y figuras deben entregarse por separado.

Las cifras decimales deben indicarse con punto y no con coma.

Para la fase presuntiva se inoculó cada serie de cinco tubos de Lauryl Tryptose Broth (BD®) con 10, 1 y 0.1 mL de la muestra de agua... Para las muestras de ostras se homogeneizaron 25 g de carne y líquido intravalvar en 225 mL de Buffered Peptone Water (BD®). A partir de esta mezcla se prepararon las diluciones 1:100 y 1:1 000. De cada dilución se inocularon 5 tubos de Lauryl Tryptose Broth.

Los miles deben indicarse con un espacio.

Las abreviaturas utilizadas deben ajustarse al Sistema Internacional de Unidades (m, km, g, mg, %, PSU, °C).

BIBLIOGRAFÍA

Utilizar &

Se utilizan letras para diferenciar publicaciones del mismo autor y año.

Campos, C. J. A., Acornley, R., Morgan, O. C. & Kershaw, S. (2013a). Trends in the levels of *Escherichia coli* in commercially harvested bivalve shellfish from England and Wales, 1999-2008. *Mar. Pollut. Bull.*, 67(1-2), 223-227.
Campos, C. J. A., Kershaw, S. R. & Lee, R. J. (2013b). Environmental influences on faecal indicator organism in bivalve shellfish. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*

Publicaciones periódicas: Volumen de la Revista en cursiva. El número de la Revista entre paréntesis. No debe haber espacio entre el volumen y el número. Páginas iniciales y finales separadas por un guión.

Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. & Trussell, R. R. (1989). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (17th ed.). Washington, EE:UU.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation.

Publicaciones no periódicas: Título del libro en cursiva.

Publicaciones no periódicas: Localidad: Editorial.

Cuando son más de 7 autores, se enuncian los primeros 6 autores seguido de "... " y luego se escribe el último autor

Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V, Micheli, F., D'Agrosa, C., ... Watson, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319, 948-952.

Organización

IMN. Instituto Meteorológico Nacional. (2014). Clima en Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. Recovered its in 22 January 2014, retrieved from <http://www.imn.ac.cr/educacion/CLIMA DE COSTA RICA.html>

CITES. (2011). *The CITES species. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*. Ginebra, Suiza. Recuperado el 21 de septiembre, 2011, disponible en www.cites.org/eng/disc/species.php

R Core Team. (2013). R: A language and environment for statistical computing. Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <http://www.R-project.org/>

Página web: Recuperado en:
Página web: Disponible en:

CUADROS Y FIGURAS

Cuadros deben ser numerados consecutivamente.

Los cuadros y figuras deberán enviarse con una reducción apropiada (hasta 60%), y sus elementos deberán tener el tamaño necesario para permitir su fácil lectura; el tamaño de las letras y el grosor de las líneas deben ser los apropiados para que sean visibles y claras cuando se efectúe una reducción. La tipografía ya reducida no deberá ser menor de 8 puntos. Es posible incluir en el manuscrito dibujos y/o fotografías; en el caso de las fotografías, la revista asumirá el costo de publicar las en blanco y negro; en caso contrario, el autor deberá asumir los costos.

Cuadro 1. Criterios de clasificación de zonas de producción de moluscos bivalvos con base en muestras de agua de mar

Table 1. Shellfish harvesting zones classification criteria based in seawater samples

Título de cuadro: En español e inglés. Debe colocarse en la parte superior del cuadro, en minúscula y sin negrita. Letra Times New Roman 11, doble espacio, justificado.

Evitar líneas verticales. Utilizar líneas horizontales únicamente cuando separen campos de información (encabezados, subencabezados, campos inferiores)

Category of classification	Faecal coliforms (MPN 100 mL ⁻¹)		Treatment required
	Geometric mean	90% compliance	
Approved areas	< 14	< 43	None.
Prohibited areas	No sanitary survey or conditions for approved/restricted areas not met.		Harvesting not permitted.

Reference: Lee *et al.* (2008)

Se debe indicar el origen de los datos.

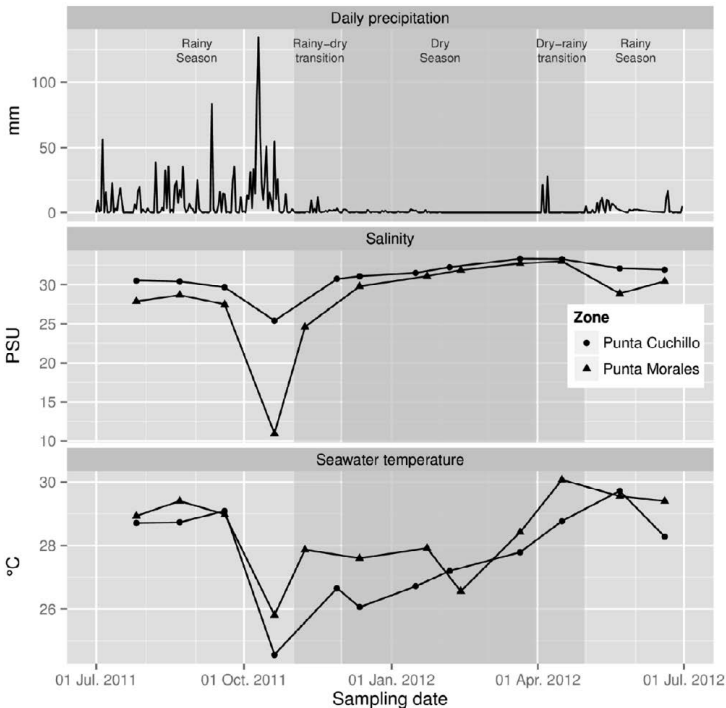


Fig. 3. Precipitación diaria (mm) y salinidad (UPS) y temperatura (°C) mensual registradas de julio de 2011 a junio de 2012 en las zonas de cultivo de *Crassostrea gigas* de Punta Cuchillo y de Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Se representan la estación seca, la estación lluviosa y los meses de transición establecidos para la zona de estudio por el Instituto Meteorológico de Costa Rica. Fuente precipitación: Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica

Fig. 3. Daily precipitation (mm) and salinity (PSU) and temperature (°C) registered monthly from July 2011 to June 2012 in the *Crassostrea gigas* harvesting zones of Punta Cuchillo and Punta Morales, Gulf of Nicoya, Costa Rica. It represented dry season, rainy season and the transition months established for the study zone by the Meteorological Institute of Costa Rica. Precipitation source: Meteorological Institute of Costa Rica

Título de figura: En español e inglés. Debe colocarse en la parte inferior de la figura, en minúscula y sin negrita. Letra Times New Roman 11, doble espacio, justificado.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

The *Journal of Marine and Coastal Sciences* is an annual scientific journal published by the Master's Program in Marine and Coastal Sciences (School of Biological Sciences, Universidad Nacional, Costa Rica), including:

- Scientific articles (original and unpublished)
- Scientific notes (short communications) and
- Literature reviews

The Editorial Committee requires authors to follow these instructions:

a) **General format**

Language:	English or Spanish, abstract in both languages.
Fonts:	Headings of sections: Times New Roman 14 pts. Text: Times New Roman 12 pts. Titles of figures and tables, name of authors and key-words: Times New Roman 11 pts. Abstract and <i>resumen</i> : Times New Roman 10 pts.
Text:	Double-spaced; indent paragraphs 5 spaces, except for <i>resumen</i> and abstract.
Maximum length:	<i>Scientific articles</i> : 25 pages maximum including figures and tables. Longer articles will only be accepted upon justification submitted to the Editorial Committee. <i>Scientific notes</i> : 6 pages maximum. <i>Reviews</i> : 25 pages maximum.
Margins:	Top: 3 cm Bottom: 2.5 cm Left: 3 cm Right: 2.5 cm

Abbreviations shall be used according to the International Unit System (m, km, g, mg, %, PSU, °C). Use period for decimals instead of comma.

Do not include footnotes or appendices. Additional material may be included only if indispensable.

b) **General structure for a scientific paper**

- *Title of the article:* Centered, bold, both in English and in Spanish, capital letters, 14 pts. Leave a single space between the title and the authors.
- *Author(s):* Times New Roman 11pts. Write first and last names in italics, justify text and indicate institutional affiliation (use superscript numbers), place of work or physical address and e-mail. Include affiliation of all authors; mark corresponding author with an asterisk. Leave a single space between the author(s) and the abstract.
- Titles of sections must be aligned to the left, in capital letters and in bold (**INTRODUCTION, MATERIALS AND METHODS, RESULTS, DISCUSSION, CONCLUSION, ACKNOWLEDGEMENTS AND BIBLIOGRAPHY**). Use a single space before the text. Do not leave spaces between paragraphs of the same section.
- *Abstract:* Each article will be preceded by the abstracts in English and Spanish, each one not exceeding 250 words.
- *Keywords:* Each abstract will be followed by keywords (five words max.) representing the article content.
- *Introduction:* The purpose of the article and the research problem reasoning shall be explained here. Specific information on the background of the study and the state of the art shall be included as well.
- *Materials and methods:* The methodology used and all the necessary information to repeat the work shall be included here. The reasons regarding selected methods may also be explained in this section.
- *Results:* Results will be presented in a text format. Data may be included in tables and figures (when required). Tables and figures shall be consecutively numbered and identified with titles according to the content (in English and Spanish); do not use bold; use accent marks over small as well as capital letters in Spanish. All data sources shall be cited and included in the text. Do not include information or illustrations unrelated to the text.

Titles of tables: Double-spaced; avoid vertical lines and use horizontal lines only to separate information fields (headings, sub-headings, independent spaces in the middle or at the bottom such as subtotals). Titles must be in the upper section of the table, in small letters and in bold.

Titles of figures: Double-spaced; Title must be at the bottom of the figure, in small letters and in bold.

Tables and figures should be reduced as appropriate (no more than 60%); the elements in the tables and figures should have the appropriate size for easy reading. Choose the appropriate font size and line-width to keep the letters clear and visible even after a reduction. Reduced fonts shall not be less than 8 pts. Drawings and/or photographs may be included in the manuscript: photographs will be published by the journal in black and white at no cost; in any other case, the author will cover the costs.

Image formatting: Figures and tables must be prepared carefully to avoid any delays in the manuscript editing and the diagramming process. Regardless of the application used, when images or tables are included electronically, save or convert them using the following formats:

EPS: Vector drawings. Insert the source reference or save the text as graphics.

TIFF: Color or grayscale photographs, always use 300 dpi minimum.

TIFF: For bitmap images, use 1000 dpi minimum.

TIFF: For combinations of bitmap/half tone (color or grayscale) use 500 dpi minimum.

DOC, XLS or PPT: Indicate if images or tables were created in Microsoft Office®.

Tables and figures shall be submitted separately.

- *Discussion:* The author will discuss the most relevant results, using pertinent and updated references. Only one Results and Discussion section is allowed.
- *Conclusions:* All conclusions shall be based on the data presented and discussed. Conclusions shall strictly agree with the purpose of

the article. If the article is a synthesis of findings, proposals may be included in this section, at the author's discretion.

- *Acknowledgements:* This section must reflect an authentic appreciation to the research collaborators.
- *Bibliography:* Bibliographic references shall follow the guidelines of the American Psychological Association (APA), available at the Journal's Website (www.una.ac.cr/revmar).

Periodicals: Periodicals are regular publications: journals, newspapers, illustrated bulletins, etc. The format required is as follows:

Author, A. A., Author, E. E. & Author, C. C. (Year of publication). Title of the article. *Title of the scientific journal in italics and correctly abbreviated according to the ISI standards*, Volume (number in parenthesis), initial and final pages separated by a hyphen.

Tomasko, D. A. & Lapointe, B. E. (1991). Productivity and biomass of *Thalassia testudinum* as related to water column nutrient availability and epiphyte levels: field observations and experimental studies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 75(3), 9-17.

Non-periodical publications: Non-periodical publications are those published separately: books, reports, booklets, some monographies, manuals and audiovisual media. Follow this format:

Author, A. A. (Year of publication). *Title of the work*. Place: Publishing house.

Book

Robinson, D. N. (1992). *Social discourse and moral judgment*. San Diego, CA, USA: Academic Press.

Chapter of a book

O'Neil, J. M. & Egan, J. (1992). Men's and women's gender role journeys; Metaphor for healing, transition, and transformation. In E. R. Wainrib (Ed.), *Gender issues across the life cycle* (pp. 107-123). New York, USA: Springer.

Conference proceedings

González, R., Calvo, A., Benavides, G. & Casullo, M. (1998, November). *Evaluación de la conducta social de Aratus pisonii*. Paper presented in the Congreso Latinoamericano de Carcinología, Salamanca, Spain.

Web page

Dewey, R. A. (2002). La torsión en los gastrópodos: una revisión. Retrieved on January 25, 2003 available at <http://www.gpa.orljournalsljacobson.html>

Article in an electronic journal

Jacobson, J. W., Mulick, J. A. & Schwartz, A. A. (1995). A history of facilitated communication: Science, pseudoscience, and antiscience: Science working group on facilitated communication. *American Psychologist*, 50, 750-765. Retrieved on January 25, 1996, available at <http://www.gpa.orljournalsljacobson.html>

From a database on CD-ROM

Schneiderman, R. A. (1997). Librarians can make sense of the Net. *San Antonio Business Journal*, 11(3). Retrieved on January 27, 1999. From the EBSCO database (Masterfile), available at <http://www.ebsco.com>

Thesis

Wilfley, D. E. (1989). *Interpersonal analysis of bulimia: Normal-weight and obese*. Unpublished doctoral thesis, University of Missouri, Columbia.

Unpublished communications: Unpublished communications will not be included in the references; they will only be mentioned in the text. Include the name of the person who provides the information, media and date. Ej.: “La coloración de *A. similis* varía con los periodos de lluvia” (C. Fonseca, personal communication, June 29, 2000).

c) General structure for a scientific note

Apply the same criteria used for the scientific article regarding Title of the article, author(s), abstract and *resumen* and keywords, except for the number of words in the abstract (70 words max).

- Titles of sections must be on the left margin (**INTRODUCTION, MATERIALS AND METHODS, RESULTS, DISCUSSION, ACKNOWLEDGEMENTS AND BIBLIOGRAPHY**). The titles of sections shall be in capital letters and in bold. Leave a space to start the text. Do not leave spaces between paragraphs of the same section.
- *Introduction*: Explain, clearly and concisely, the problem to be resolved and the objective with a theoretical base. The text should be continuous, not leaving spaces between paragraphs.
- *Tables and figures*: Same format as the scientific articles.
- *Acknowledgements*: This section will be included as the last paragraph, with no heading. “Official” names should not be translated.
- *Bibliography*: Same format as the scientific articles.

d) **General structure for a literature review**

This type of article includes literature reviews of a specific field of study related to the theme of the Journal. Authors may review the most relevant exponents, their main ideas and contributions, as well as conduct analyses and make comments based on sustained objective statements.

- Elements of a literature review article
 - Title (in English and Spanish).
 - Affiliation.
 - Keywords (in English and Spanish).
 - Abstract (in English and Spanish). Include the following in this section:
 - Objective of the study.
 - Topic addressed and its significance.
 - Periods or stages of the bibliographic information consulted in the analysis.
 - Main criteria for analyzing the bibliographic information consulted.
 - Main findings and conclusions.
 - Main applications, implications and recommendations.
 - Necessary information that would help the reader quickly identify the basic content of the paper and its relevance. The paper is semantically self-sufficient.

- Introduction: Establishes the objective or problem that motivated the review and includes the paper's organization criteria.
- Development: Specifies the bibliographic analysis
- Conclusions or discussions and pending matters.

e) **Manuscript stages**

1. Receiving date

Articles will be received throughout the year; however, the due date will be March 30th of each year to guarantee that the publication will appear on the volume of the corresponding year.

2. Delivery

The first version of the manuscript can be sent in digital form, together with the attached [statement of originality and copyright transfer agreement](#) duly completed and signed by all the authors, to the following emails: revmar@una.cr or revcienmarycos@gmail.com. It can alternatively be sent by postal mail to the following addresses:

Licda. Nidya Cecilia Nova Bustos Editor Revista Ciencias Marinas y Costeras Maestría en Ciencias Marinas y Costeras Universidad Nacional Apartado Postal 86-3000 Costa Rica	M. Sc. Luis Villalobos Chacón Director Revista Ciencias Marinas y Costeras Maestría en Ciencias Marinas y Costeras Universidad Nacional Apartado Postal 86-3000 Costa Rica
---	--

Content of the ***Statement of Originality and Copyright Transfer Agreement***

1. The article is original and has not been published: in other words, it is the intellectual production of the person(s) indicated above and has not been publicly shared with third parties by any printed or digital means.
2. The article has not been simultaneously submitted for publication in another printed or electronic journal or any other written media or editorial body. In case the article has already been submitted in another journal, please explain why it was not accepted and indicate the email of the journal where it was originally submitted.
3. The authors have not subscribed, with third parties, any transfer of intellectual proprietary rights agreements or use licenses regarding intellectual property rights for the submitted article that prevents them from licensing the Journal.

4. In case of collective authorship— whether works in which the authors have the same degree of involvement or those in which there is a lead author and one or more secondary authors— all authors have contributed intellectually to the paper.
5. In case of collective authorship (as specified in item 4), in relation to the recognition of participation levels assigned by the authors, they released *Revista Ciencias Marinas y Costeras* from any liability.
6. In case of collective authorship, all authors have read and approved the submitted manuscript. Therefore, we, the undersigned authors, appoint _____ as the corresponding author having sufficient authority to represent the other authors, on his/her capacity as the authorized agent.
7. The author(s) recognize(s) that the Journal does not necessarily endorse the statements expressed in the article.
8. The author(s) state(s) that all text **citations** in the paper and their corresponding bibliographic **references** have been properly sourced and credited.
9. The author(s) include(s) in the paper the permits or authorization from those who own the rights for use of tables and figures (illustrations, photographs, drawings, maps, diagrams, or other).
10. In case the submitted paper is accepted for publication, the author(s) **FREELY, EXCLUSIVELY, AND FOR AN INDEFINITE TERM** transfer(s) copyright(s) to Universidad Nacional (Costa Rica), for the following:
 - a. Graphics editing and proofreading of the entire paper or part of it.
 - b. The publication and reproduction of the entire paper or part of it, both in printed and electronic formats, including Internet and any other technology now known or to be known.
 - c. The translation of the paper or part thereof into any language or dialect.
 - d. The adaptation of the article to reading, sound, and voice recognition formats and any other representation or technical device available, enabling partial or complete access for the blind or persons with any other form of disability that prevents them to access the conventional reading of the article.
 - e. The distribution and availability of the article to the public, so that the public may access it from the time and place chosen by the reader, through the physical or electronic devices at the person's disposal.
 - f. The distribution of the paper through the Creative Commons BY-NC-SA license, version 4.0, which implies the possibility that readers download, store, copy, generate derived papers, and distribute the final approved and published version (*post print*) of the article, provided it is done for non commercial purposes, and the article is properly sourced and credited.
 - g. Any other use, process, or system known or to be known related to the editorial purposes and activities linked to the Journal.
11. Reuse Rights: at the same time, UNA grants **AUTHORS** the right to reuse, for any purpose, and to publish on the Internet or any website, the final approved and published version (*post print*) of the article, provided it is done for non-profit purposes.

12. The author(s) agree(s) that the submitted paper be adjusted, with their collaboration, by the Journal editing team to the “[Instructions to Authors](#)” previously established and published in the Journal’s official website (<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/revmar>); in terms of procedures, formatting, proofreading, editing, publication, duration of the editorial process and other requirements called for in those instructions.
13. The author(s) accept(s) that the Journal reserves the right to expeditiously remove or block access to the publications saved in its virtual platforms after obtaining actual knowledge of a complaint filed by a third party for an alleged infringement of copyright.
14. According to Law No. 8968, Personal Data Protection Law, the AUTHOR agrees to provide the Journal with an electronic mail address, as well as the personal data necessary for the identification of the authorship of the article: _____.
In addition, the author authorizes the Journal to publish, along with the article, the personal data necessary (name and last name, institution, city/country, email and ORCID number). Any personal data other than the one indicated above will be treated as absolutely confidential by the Journal and shall not be published or given to third parties without the AUTHOR’s consent.
15. The author(s) accept(s) that the application and possible publication of the article in *Revista Ciencias Marinas y Costeras* is governed by the editorial policies of the Journal, the institutional rules of Universidad Nacional de Costa Rica and the laws of the Republic of Costa Rica. In addition, in case of any possible difference of opinion or future dispute, it shall be settled in accordance with the mechanisms of Alternative Dispute Resolution and the Costa Rican jurisdiction.

The articles accepted by the *Journal of Marine and Coastal Sciences* become property of the Journal; the author and production rights are respected. The original manuscripts will not be returned.

3. Arbitration

The manuscripts that fulfill the thematic objectives of the Journal and adjust to the indicated format will be sent to at least two external evaluators who will review the document according to the “double blind” methodology and will make the necessary recommendations to improve them or declare them unacceptable. The Editorial Committee will send such observations to the author. If the article is accepted, but subject to modifications, the author will have a specific term to make such modifications and submit the manuscript again. Final approval of articles is granted by the Editorial Committee.

4. Galley proof and reprints

After the manuscript has been proofread, edited and accepted, the author will receive a final galley proof in PDF by email before the publication of the article. The authors will be responsible for the final review, making the minimum necessary changes and correcting any existing printing mistakes. The authors

should return the galley proof within a maximum period of one week from the date it was received. The delay in returning the galley proof may result in the publication of the article without the author's corrections.

Title of article: in Spanish and English. Centered, in bold, in capital letters, Times New Roman 14, double space.

**EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE
ESCHERICHIA COLI EN *CRASSOSTREA GIGAS*...
EVALUATION OF *ESCHERICHIA COLI*
CONCENTRATIONS IN *CRASSOSTREA GIGAS* ...**

Leave a space between section titles and the text.

Author(s): full name in italics, Times New Roman 11, double space, justified.

Luis A. Vega Corrales^{1} y Carolina Marín Vindas¹.*

¹Estación de Biología Marina Juan Bertoglia Richards, Universidad Nacional, Costa Rica. luis.vega.corrales@una.cr*

Include e-mail address of corresponding author. Marked with an asterisk.

Indicate all of the authors' institutional affiliation, place of work or physical address. Use numbered superscripts.

Leave a single space between the author(s) and the abstract.

Titles of section (Abstract, Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Acknowledgments, Bibliography): left margin, in bold, in capital letters, Times New Roman 14.

RESUMEN

Costa Rica no cuenta con referencias sobre la calidad sanitaria de las zonas de cultivo de *Crassostrea gigas* y esto puede representar un riesgo para la salud pública...

Palabras claves: Contaminación marina, maricultura, *Escherichia coli*, *Crassostrea gigas*, Costa Rica.

Abstract: in Spanish and English. Times New Roman 10, justified, single space. Maximum length: 250 words.

ABSTRACT

Costa Rica does not have references on health quality of harvesting zones of *Crassostrea gigas*, which can pose a potential public health risk...

Keywords: Marine pollution, mariculture, *Escherichia coli*, *Crassostrea gigas*, Costa Rica.

Keywords subtitle: in bold, Times New Roman 11. Minimum and maximum 5 keywords, as required by databases.

Leave a space between section titles and the text.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marinos son vulnerables a la contaminación antropogénica. Según Halpern *et al.* (2008), no existen zonas marino costeras que no estén impactadas por la influencia humana...

Text: Times New Roman 12, double space, justified. Both lowercase and capital letters must have accents if in Spanish. Each paragraph must have a 5 character indentation. There should be no spaces between paragraphs within the same section.

...Estudios recientes han demostrado que las concen las zonas de cultivo de moluscos bivalvos dependen, entre otros factores, de las condiciones climatológicas y estacionales del área (Peterson, 1960; CITES, 2011; Campos *et al.* 2013b; Derolez *et al.* 2013; Lee & Silk, 2013; Mignani *et al.* 2013).

Citation for one author.

Citation for more than 2 author publications.

Citation for different publications of the same author and year.

Citation for two author publications.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó la contaminación por *E. coli* en las zonas de cultivo de ostras de Punta Cuchillo (9°49' 48" N y 84°52' 48" O) y de Punta Morales (10°4' 84" N y 84°58' 37" O), ubicadas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica (Fig. 1).

Tables and figures must be delivered separately.

Use a decimal point rather than a comma.

Para la fase presuntiva se inoculó cada serie de cinco tubos de Lauryl Tryptose Broth (BD®) con 10, 1 y 0.1 mL de la muestra de agua... Para las muestras de ostras se homogeneizaron 25 g de carne y líquido intravalvar en 225 mL de Buffered Peptone Water (BD®). A partir de esta mezcla se prepararon las diluciones 1:100 y 1:1,000. De cada dilución se inocularon 5 tubos de Lauryl Tryptose Broth.

Thousands should be indicated with a comma.

The abbreviations used should conform to the international system of units (m, km, g, mg, %, PSU, °C).

BIBLIOGRAFÍA

Use "&".

Use letters to differentiate publications by the same author and year.

Campos, C. J. A., Acornley, R., Morgan, O. C. & Kershaw, S. (2013a). Trends in the levels of *Escherichia coli* in commercially harvested bivalve shellfish from England and Wales, 1999-2008. *Mar. Pollut. Bull.*, 67(1-2), 223-227.

Periodicals: journal volume in italics and issue in parentheses. There should be no space between the volume and the issue. Initial and final pages separated with a hyphen.

Campos, C. J. A., Kershaw, S. R. & Lee, R. J. (2013b). Environmental influences on faecal indicator organisms in coastal waters and their accumulation in bivalve shellfish. *Estuaries Coasts*, 36(4), 834-853.

Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. & Trussell, R. R. (1989). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (17th ed.). Washington, EE:UU.: American Public Health Association, American Water Works Association.

Non-periodical publications: title of book in italics.

Non-periodical publications: Place: Publisher.

Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V, Micheli, F., D'Agrosa, C., ... Watson, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science* 319 948-952.

When there are more than 7 authors, list the first 6 followed by "... " and write the last author.

Organization

IMN. Instituto Meteorológico Nacional. (2014). Clima en Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. Recovered its in 22 January 2014, retrieved from <http://www.imn.ac.cr/educacion/CLIMA DE COSTA RICA.html>

CITES. (2011). *The CITES species. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*. Ginebra, Suiza. Recuperado el 21 de septiembre, 2011, disponible en www.cites.org/eng/disc/species.php

R Core Team. (2013). R: A language and environment for statistical computing. Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <http://www.R-project.org/>

Website: Retrieved from:
Website: Available at:

CUADROS Y FIGURAS

Tables and figures must be properly reduced (up to 60%) and their components must be properly sized to allow easy reading; the size of the font and the thickness of the lines should be properly visible and clear when reduced. The font already reduced should not be smaller than 8. The manuscript may include drawings and/or photographs; in the case of photographs, the journal will cover the cost of publishing them in black and white; otherwise, the author will cover the cost.

Tables should be numbered consecutively.

Cuadro 1. Criterios de clasificación de zonas de producción de moluscos bivalvos con base en muestras de agua de mar

Table 1. Shellfish harvesting zones classification criteria based in seawater samples

Title of table: in Spanish and English. It should be placed at the top of the table, in lower case and not in bold. Times New Roman 11, double space, justified.

Avoid vertical lines. Use horizontal lines only when they separate fields of information (headlines, subheadings, lower fields).

Category of classification	Faecal coliforms (MPN 100 mL ⁻¹)		Treatment required
	Geometric mean	90% compliance	
Approved areas	< 14	< 43	None.
Prohibited areas	No sanitary survey or conditions for approved/restricted areas not met.		Harvesting not permitted.

Reference: Lee *et al.* (2008)

You must indicate the source of the data.

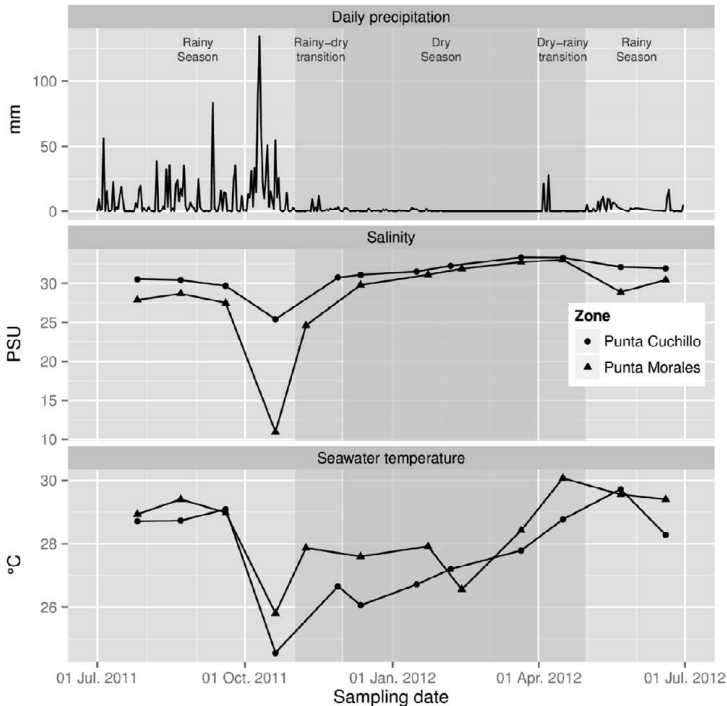


Fig. 3. Precipitación diaria (mm) y salinidad (UPS) y temperatura (°C) mensual registradas de julio de 2011 a junio de 2012 en las zonas de cultivo de *Crassostrea gigas* de Punta Cuchillo y de Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Se representan la estación seca, la estación lluviosa y los meses de transición establecidos para la zona de estudio por el Instituto Meteorológico de Costa Rica. Fuente precipitación: Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica

Fig. 3. Daily precipitation (mm) and salinity (PSU) and temperature (°C) registered monthly from July 2011 to June 2012 in the *Crassostrea gigas* harvesting zones of Punta Cuchillo and Punta Morales, Gulf of Nicoya, Costa Rica. It represented dry season, rainy season and the transition months established for the study zone by the Meteorological Institute of Costa Rica. Precipitation source: Meteorological Institute of Costa Rica

Title of figure: in Spanish and English. It should be placed at the bottom of the figure, in lower case and not in bold. Times New Roman 11, double space, justified.

Esta revista se imprimió en el Programa de Publicaciones e Impresiones de la Universidad Nacional en el 2022, consta de un tiraje de 53 ejemplares, en papel bond y cartulina barnizable.