



Maestría en Ciencias Marinas y Costeras



REVMAR

REVISTA CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS



**Rector:** Francisco González Alvarado**Comité Editorial Revista Ciencias Marinas y Costeras****Director**

Ricardo Jiménez Montealegre Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica.

Editores

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

Miembros Nacionales

Luis A. Villalobos Chacón 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 CINVESTAV-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

Dra. Iliana Araya Ramírez, Presidenta
Dr. Francisco Vargas Gómez, Secretario
Dr. Jorge Herrera Murillo
Dr. Marco Vinicio Méndez Coto
M.Sc. Patricia Vásquez Hernández
M.A. Erick Álvarez Ramírez
Licda. Andrea Morales Méndez

Producción editorial: Marianela Camacho

578.77

R454r

Revista Ciencias Marinas y Costeras / Maestría en Ciencias Marinas y Costeras y Escuela de Ciencias Biológicas. Heredia, C.R. : EUNA, 2021.
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/revmarCorreo electrónico: revmar@una.ac.crrevcienmarycos@gmail.com

CONTENIDO

- Relaciones entre el ambiente y la estructura de la comunidad de peces en ciclos nictemerales en la laguna Mecoacán, Tabasco, México**
Relationships between the environment and structure of the fish community in nycthemeral cycles in the Mecoacán lagoon, Tabasco, Mexico
Luis Amado Ayala-Pérez, Iliana Lizeth Castillo-Adame, Alfonso Esquivel- Herrera, Nayelli Estrada-Hidalgo, Jennifer Pamela Jardon-Romero, Itzel Jiménez-Obregón y Eduardo André Rodríguez-Ayala 9-30
- Tsunami de las islas Kermadec del 4 de marzo del 2021: registros, modelado numérico y atención del evento para Costa Rica**
The March 4, 2021 Kermadec Islands tsunamis: records, numerical modeling and warnings in Costa Rica
Hernán Porras-Espinoza, Silvia Chacón-Barrantes, Anthony Murillo-Gutierrez y Fabio Rivera-Cerdas 31-50
- Estructura vegetal y flora asociada del manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica**
Forest structure and associated flora of the Mata de Limón mangrove forest Puntarenas, Costa Rica
Yixlen Guzmán-Sánchez, Gustavo Rojas-Ortega, Esteban Esquivel-Martín, Ana Lucía Arrieta-Sancho, José Andrés Vargas-Solano y Luis Villalobos-Chacón 51-64
- Primer registro del pez marino *Taractichthys steindachneri* (Perciformes: Bramidae) en El Salvador**
First record of the marine fish *Taractichthys steindachneri* (Perciformes, Bramidae) in El Salvador
Andrea Fortis-Benavides y José Alberto González-Leiva 65-72
- Primer registro del pez marino *Taractichthys steindachneri* (Perciformes: Bramidae) en El Salvador**
First record of the marine fish *Taractichthys steindachneri* (Perciformes, Bramidae) in El Salvador
Andrea Fortis-Benavides y José Alberto González-Leiva 65-72

Occurrence of the rough eagle ray *Aetomylaeus asperrimus* (Chondrichthyes: Myliobatidae) along the north Pacific coast of Costa Rica
Presencia de la raya águila de piel áspera *Aetomylaeus asperrimus* (Chondrichthyes: Myliobatidae) en la costa del Pacífico Norte de Costa Rica
Elpis J. Chávez, Maïke Heidemeyer, Randall Arauz, Daniel Arauz-Naranjo, Randall Mora-Vargas, José Luis Molina-Quirós & Sebastián Hernández-Muñoz 73-82

Instrucciones a los autores 99-133

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.

Relaciones entre el ambiente y la estructura de la comunidad de peces en ciclos nictermales en la laguna Mecoacán, Tabasco, México

Relationships between the environment and structure of the fish community in nycthemeral cycles in the Mecoacán lagoon, Tabasco, Mexico

Luis Amado Ayala-Pérez^{1*}, Iliana Lizeth Castillo-Adame¹, Alfonso Esquivel-Herrera¹, Nayelli Estrada-Hidalgo², Jennifer Pamela Jardon-Romero², Itzel Jiménez-Obregón² y Eduardo André Rodríguez-Ayala²

RESUMEN

La laguna de Mecoacán es un ecosistema utilizado por diversas especies como área de crianza, refugio, alimentación y crecimiento, particularmente por moluscos, crustáceos y peces. El objetivo de este estudio fue comparar el comportamiento ambiental y la estructura de la comunidad de peces entre dos ciclos nictermales en un sitio localizado cerca de la boca de conexión de la laguna con el mar. Se realizaron dos campañas de muestreo, en junio y octubre 2019, se registraron variables ambientales y recolección de muestras de ictiofauna con una red agallera. Se determinó la abundancia, en términos del número de individuos, la biomasa y el peso promedio, así como los índices de heterogeneidad, riqueza de especies y equidad. Se identificó a las especies dominantes, se analizaron asociaciones ecológicas y se discuten correlaciones entre la abundancia y las variables ambientales. La temperatura promedio fue 29.6°C, de la salinidad 30.46 unidades, del oxígeno disuelto 2.28 mg/l y del pH 7.46. Se identificaron 16 especies de peces, en las que destaca la abundancia de *Diapterus rhombeus*. Para junio 13 especies agrupadas en 12 géneros y 11 familias, mientras que en octubre se capturaron 10 especies, de 9 géneros y 8 familias. Se determinaron 11 especies dominantes asociadas a 4 grupos, que muestran una correlación diferencial con las variables ambientales. Dadas las diversas presiones antropogénicas en la laguna es importante la integración de información ambiental y de la estructura de las comunidades bióticas como base para la evaluación de su grado de perturbación.

Palabras clave: Abundancia de peces, asociaciones ecológicas, diversidad de peces, Mecoacán, peces dominantes

1 Departamento El Hombre y su Ambiente. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Calz. Del Hueso 1100 Col. Villaquietud, Coyoacán, 04920, México. luayala@correo.xoc.uam.mx*; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7876-9544> ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5707-8859> ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1640-4344>

2 Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5071-8454>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0337-2358> ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3665-0852>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8236-2598>

ABSTRACT

The Mecoacán lagoon is an ecosystem used as a breeding area, a refuge, and a feeding and growth area by different species, particularly mollusks, crustaceans, and fish. The objective of this study is to compare the relationships between the environment and the structure of the fish community between two nycthemeral cycles, at a site near the mouth connecting a lagoon with the sea. Two sampling campaigns were carried out during June and October 2019, recording environmental variables and collecting samples of ichthyofauna with a gillnet. Abundance was determined in terms of number of individuals, biomass, and average weight, as well as heterogeneity, species diversity, and evenness indices. Dominant species were identified, ecological associations were analyzed and the correlations between abundance and environmental variables were determined. The average temperature was 29.6 °C, average salinity was 30.46 units, average dissolved oxygen was 2.28 mg/l and average pH was 7.46. In total, 16 species of fish were identified, among which the abundance of *Diapterus rhombeus* stands out. In June 13 species belonging to 12 genera and 11 families were reported, while in October 10 species were captured, belonging to 9 genera and 8 families. Eleven (11) dominant species were identified that can be classified into four groups which show differential correlations with environmental variables. Given the various anthropogenic pressures operating in the lagoon, it is important to integrate information on the environment and the structure of biotic communities as a basis for evaluating their degree of disturbance.

Keywords: Fish abundance, ecological associations, fish diversity, Mecoacán, dominant fish

INTRODUCCIÓN

En la llanura costera del estado mexicano de Tabasco, entre los ríos Tonalá y San Pedro y San Pablo, se ubican tres de los principales ríos del país, el Mezcalapa, el Grijalva y el Usumacinta que en conjunto aportan más del 33% de los recursos hidrológicos del país, así como los sistemas lagunares Carmen-Pajonal-Machona y Mecoacán, que en conjunto suman una superficie de 32 000 ha y dan soporte a cerca de 40 km² de bosques de manglar. En esta zona se reconoce una diversidad de ambientes asociados a estos cuerpos de agua, así como una compleja red de uso de los bienes y

servicios que los ecosistemas proporcionan, por lo que existen esfuerzos para elaborar programas de desarrollo sustentables para su conservación y aprovechamiento (Pérez-Sánchez *et al.* 2002; Vázquez & Alexander, 2002; Barba-Macías *et al.* 2006; Medellín & Meriño-Tapia, 2013).

De acuerdo con Espinoza-Tenorio *et al.* (2015), del total de las notas científicas publicadas en la región (187), la mayor cantidad se concentra en la laguna de Mecoacán (43%), a los que se suman investigaciones en conjunto con el complejo Carmen-Pajonal-Machona sobre los campos ostrícolas que cubren 477 ha (Garri-do-Mora *et al.* 2014). La mayor parte

de las investigaciones son a escala local (68%), el 21% a escala estatal y el 11% se reconocen como regionales. Esta base bibliográfica contribuye a establecer líneas de acción para identificar corredores biológicos en la costa de Tabasco, como el definido por las áreas de manglar de las lagunas Carmen-Pajonal-Machona, Mecoacán, Santa Anita y hasta la reserva de la biósfera Pantanos de Centla (Valdez *et al.* 2019).

La importancia ecológica y económica de la laguna Mecoacán radica en la diversidad y abundancia de especies de interés pesquero (Dominguez *et al.* 2003). Además, este tipo de sistemas proporcionan servicios ambientales como el control de los efectos provocados por mareas, tormentas y huracanes (CONANP & PNUD, 2018). Por desgracia, en años recientes este sistema se ha visto afectado por diversas acciones como la sobreexplotación de recursos (FAO, 2020), la expansión urbana, la aportación de desechos domésticos y, en la actualidad el desarrollo de los trabajos de construcción de la refinería de Dos Bocas (Núñez-Gómez *et al.* 2016).

Entre estos antecedentes, el estudio particular de las comunidades de peces en la laguna Mecoacán se limita a unos cuantos: Reyes *et al.* (2013a y b); Espinoza-Tenorio & Mendoza-Carranza (2015) y Páramo & Arias (2019).

El análisis del comportamiento ambiental y la estructura comunitaria en una escala nictemeral, permite generar indicadores del funcionamiento del ecosistema en periodos cortos. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue comparar la práctica de algunas variables ambientales, así como la abundancia y diversidad de la comunidad de peces durante dos ciclos nictemerales en un sitio ubicado cerca de la boca de conexión de la laguna con el mar.

METODOLOGÍA

La laguna Mecoacán se localiza al noreste de la llanura deltáica del río Mezcalapa, comunicada con el golfo de México a través del canal “barra de Dos Bocas”. Tiene un área aproximada de 5168 ha. El 95.5% de la superficie del estado de Tabasco presenta clima cálido húmedo, la temperatura media anual en la entidad es de 27°C, la precipitación media estatal es de 2 550 mm anuales (INEGI, 2019). Es una laguna costera somera con una profundidad que varía entre 0.9 y 2.3 m y está conectada con los ríos Escarbado y González por la porción este, el río Cuxcuchapa por el sureste y el río Seco por el noroeste y con el mar por medio de la barra Dos Bocas (Dominguez *et al.* 2003). Se integra al complejo fluvio-deltáico, conformado por los ríos más caudalosos de México: el Grijalva y el Usumacinta (Contreras-Espinoza,

1993). El comportamiento estuarino de la laguna está definido por la pauta de mareas, por los aportes de agua dulce y por el régimen de lluvias (George-Zamora & Aldana-Aranda, 2000).

En la laguna de Mecoacán, el área de manglar, la vegetación palustre circundante, la vegetación sumergida (macroalgas), y la compleja comunidad fitoplanctónica, constituyen el soporte de productividad primaria, además de su fundamental participación en los procesos costeros ambientales (Campos-Campos *et al.* 2012; Díaz-Martínez, 2015).

Se realizaron dos campañas de muestreo (junio y octubre de 2019) visitando un sitio establecido cerca de la boca de conexión de la laguna con el mar. La ubicación del sitio de muestreo se determinó considerando las condiciones de accesibilidad y facilidad para la instalación del equipo de medición de variables ambientales, así como el tendido de una red agallera experimental. Las coordenadas decimales del sitio de muestreo son: $93^{\circ} 7' 42.45''$ W $18^{\circ} 25' 59.59''$ N; y se representa en la figura 1.

En cada campaña se realizaron registros de las variables de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH con un equipo YSI 556 MPS, cada hora, en un periodo de 24 horas. Con ayuda de un estadal marcado en cada centímetro se midió el nivel de la



Fig. 1. Ubicación del área de estudio y sitio de muestreo (punto rojo), laguna Mecoacán, Tabasco, sur del golfo de México

Fig. 1. Location of the study area and sampling site (red dot). Mecoacán lagoon, Tabasco, southern Gulf of Mexico

marea, se utilizó como valor inicial el del primer muestreo que fue a las 10 h. Cada dos horas se recolectaron muestras de agua para la determinación de concentración de clorofila *a* de acuerdo con lo propuesto por Barreiro-Güemes & Signoret-Poillon (1999).

Perpendicular a la línea de la costa se colocó una red agallera experimental de 100 m de largo por 2.5 m de alto. La red se construyó con 5 paños de 20 m cada uno, al centro 1 paño con luz de malla de 6.4 cm y hacia cada extremo paños de 3.8 y 2.5 cm. Cada 4 horas la red fue revisada y la captura se colocó en bolsas plásticas con una solución de formalina al 15%

para su posterior procesamiento en el laboratorio.

En el laboratorio, las muestras de peces se lavaron y rehidrataron durante 24 horas. La clasificación taxonómica se realizó con ayuda de claves específicas y literatura especializada (Cervigón *et al.* 1992; Castro *et al.* 1999; Carpenter 2002a y b; Ayala-Pérez *et al.* 2015) y el ordenamiento sistemático se realizó de acuerdo con Nelson *et al.* (2016). Todos los individuos capturados se midieron en talla total y estándar, con un ictiómetro convencional y pesados con una balanza digital.

Con la información de las variables ambientales, la concentración de clorofila, la variación de la marea y la talla y peso de los peces se construyó una base de datos con ayuda del programa Excel y el análisis estadístico descriptivo se realizó con apoyo del programa Systat mediante gráficos de caja y bigote, así como con el uso de técnicas estadísticas. Se utilizó la prueba de W de Shapiro-Wilk para probar la normalidad de los datos de las variables ambientales, así como pruebas de hipótesis paramétricas (ANOVA, prueba de Tukey) y no paramétricas (Prueba de Kolmogorov-Smirnov) para comparar los resultados entre campañas de muestreo.

Los parámetros de abundancia de la comunidad de peces se estimaron en términos del número de individuos, biomasa (g) y peso promedio (g/

individuo). La diversidad se determinó de acuerdo con Magurran (2004), mediante los índices propuestos por Shannon y Weaver (1963) para evaluar la heterogeneidad, Margalef (1969) para la riqueza de especies y Pielou (1966) para la equidad.

Las especies dominantes se identificaron por medio del Índice de Importancia Relativa (IIR) modificado por Koranteng (2001) donde se integra la aportación porcentual del peso (W), de la abundancia numérica (N) y de la frecuencia de aparición (F) a partir de la siguiente relación: $IIR = (\%W) * (\%N) * (\%F)$. Las especies que alcanzaron un valor superior a 20 se consideraron dominantes (Ciprés-Chávez *et al.* 2017).

Se realizó un diagrama de asociación clúster (método Ward, distancia Gamma) con ayuda del *software* Systat para identificar la agrupación entre las especies de peces dominantes, así como un análisis de correlación entre el número de individuos de las especies dominantes y las variables ambientales, mediante la técnica de correspondencia canónica (ACC) con el programa Multi Variate Statistical Package (MVSP) (Kovach, 2007).

RESULTADOS

En la figura 2 se representa, de manera comparada, la estadística descriptiva de las variables ambientales

de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH para las dos campañas de muestreo. La temperatura promedio para las dos campañas fue de 29.6°C, con un valor mínimo en junio (27.7°C) y un máximo en octubre (31.5°C), para ambos meses se identifica una tendencia normal ($P = 0.122$ y 0.232) y no se identificaron diferencias significativas entre las campañas ($P = 0.216$). La salinidad mostró un valor promedio de 30.46, con un valor mínimo de 22.48 y un máximo de 36.64, ambos registrados en junio, con un comportamiento no normal en junio ($P = 0.001$) y uno normal en octubre ($P = 0.46$). En este caso, se identificaron diferencias significativas entre las dos campañas de muestreo ($P = 0.0029$).

El oxígeno disuelto promedio fue de 2.28 mg/l, con un mínimo de 1.0 mg/l registrado en junio y un máximo de 4.67 mg/l en octubre. En junio esta variable presentó una pauta no normal ($P = 0.001$) en tanto que en octubre la normalidad fue aceptada ($P = 0.342$). Existe evidencia significativa de la diferencia entre las dos campañas de muestreo ($P = 4 \times 10^{-6}$). Para el caso del pH, el valor promedio fue de 7.46, con valores que oscilan entre 6.83 (octubre) y 8.1 (junio). En ambas campañas esta variable mostró evidencia suficiente en contra de la normalidad ($P = 0.043$ y 0.028) y también, se encontraron diferencias significativas entre ambas campañas ($p = 7 \times 10^{-11}$).

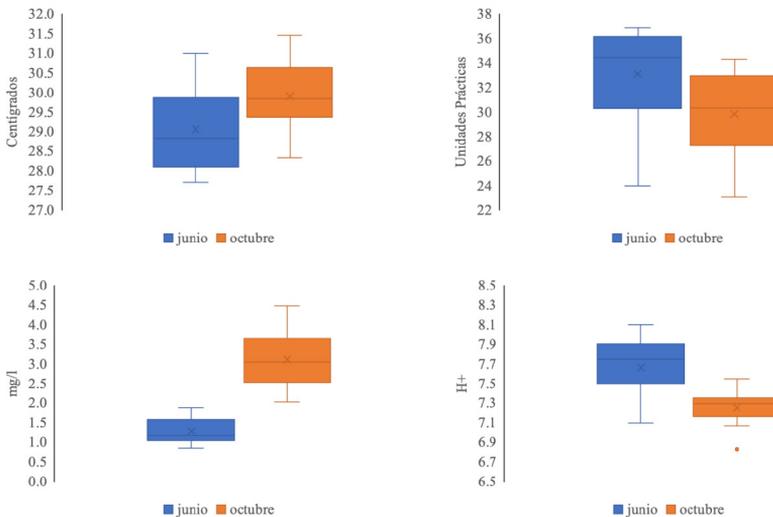


Fig. 2. Estadística descriptiva de las variables ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH) por campaña de muestreo en la laguna Mecocacán
Fig. 2. Descriptive statistics of environmental variables (temperature, salinity, dissolved oxygen, pH) by sampling campaign in the Mecocacán lagoon

En la figura 3 se observa el comportamiento comparativo de las variables ambientales medidas en fondo durante los ciclos nictemerales. La profundidad en el sitio de muestreo osciló entre 60 y 130 cm con un promedio de 93 cm. La temperatura mostró un intervalo de variación de 27.72 - 30.98°C en junio y de 28.33 - 31.46°C en octubre. La salinidad presentó una variación de 24.01 - 36.86 PSU en junio y 23.07 - 34.29 PSU en octubre. En cuanto al oxígeno disuelto los valores oscilaron entre 0.85 - 1.88 mg/L en junio y 2.03 - 4.47 mg/L en octubre. Por último, el pH osciló entre 7.10 - 8.10 en junio y 6.83 - 7.55 en octubre.

La figura 4 muestra las fluctuaciones de la concentración de clorofila *a* de manera comparativa con el nivel de marea registrado cada dos horas. El primer muestreo de ambas campañas fue a las 10:00 horas y se consideró como valor cero del nivel de marea. La concentración de clorofila *a* osciló de 3.2 a 13.8 y de 5.34 a 12.816 mg/m³ en junio y octubre correspondientemente. En junio se observa un comportamiento donde la concentración de clorofila *a* se asocia, de forma directa, con la tendencia del nivel de marea, en tanto que en octubre se observa con una tendencia inversa.

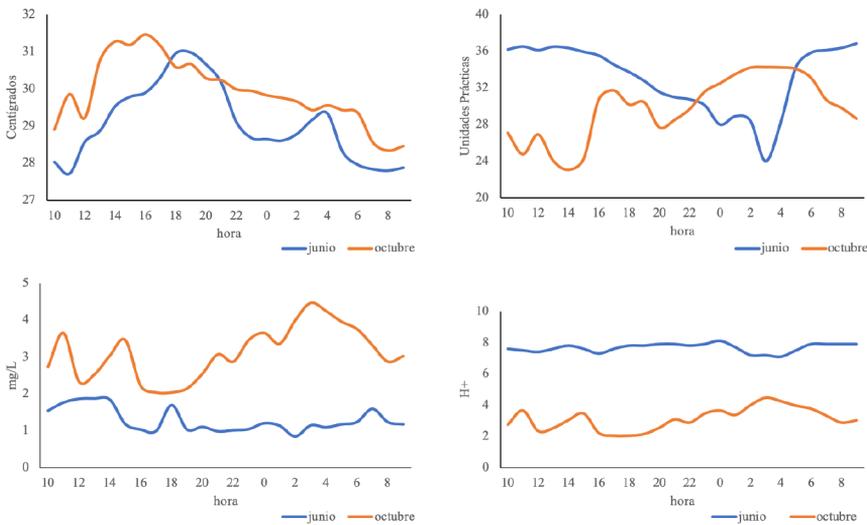


Fig. 3. Comportamiento nictemeral de las variables ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH) en los ciclos de muestreo en la laguna Mecoacán
Fig. 3. Nycthemeral behavior of environmental variables (temperature, salinity, dissolved oxygen, pH) in the sampling cycles in the Mecoacán lagoon

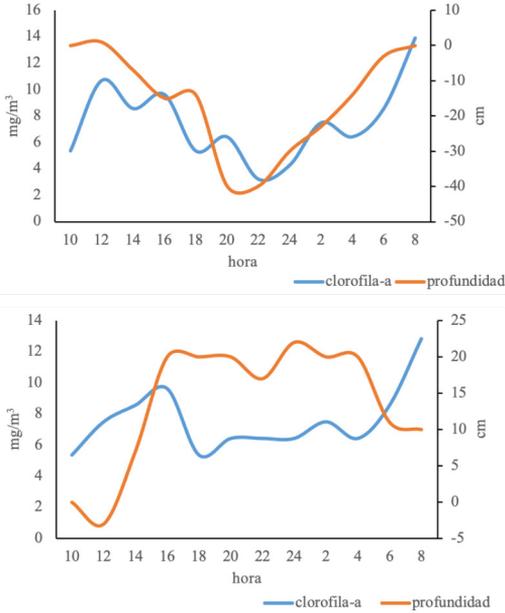


Fig. 4. Comportamiento nictermal de la concentración de clorofila *a* en cada campaña de muestreo (junio y octubre) en la laguna Mecoaacán

Fig. 4. Nycthemeral behavior of chlorophyll *a* concentration in each sampling campaign (June and October) in the Mecoaacán lagoon

En la campaña de junio se capturaron en total 98 organismos con un peso total de 2 305 g y para la campaña de octubre se recolectaron 49 organismos con un peso total de 2 094.3 g. En el cuadro 1 se presenta el listado taxonómico de todas las especies

capturadas, donde se incluye el código alfa, la categoría de riesgo y el endemismo de acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2021).

Para junio se clasificaron 13 especies, agrupadas en 12 géneros, 11 familias y 7 órdenes, mientras que en octubre se registraron 10 especies de 9 géneros, 8 familias y 4 órdenes. En total para ambos muestreos se clasificaron 16 especies.

En la figura 5 se muestra el comportamiento de la abundancia en las dos campañas de muestreo. En junio el mayor número de individuos se observó a las 10:00 horas con 26 y el más bajo fue a las 02:00 horas con 9 individuos; en octubre se registraron 14 individuos a las 18:00 horas y 4 a las 22:00 horas. En cuanto a peso, en junio se registraron 496 g a las 10:00 horas y 121 g a las 02:00 horas, en contraste, en octubre se registraron 914 g a las 06:00 horas y 57 g a las 22:00 horas. En junio el mayor peso promedio fue de 44 g/ind. registrado a las 14:00 horas y el menor de 13 g/ind. a las 02:00 horas; en oposición, en octubre el mayor peso promedio se registró a las 6:00 horas con 91 g/ind. y el menor se presentó a las 18:00 horas con 13 g/ind.

Cuadro 1. Ordenamiento sistemático de las especies de peces de la Laguna Mecoacán. Se señala categoría de riesgo y endemismo. LC= Preocupación menor, DD= Datos deficientes, VU= Vulnerable, NE= No evaluado, IN= Incidental, ND= Sin datos y EN= Endémico

Table 1. Systematic ordering of the fish species of the Mecoacan Lagoon. Risk category and endemism are indicated. LC = Least Concern, DD = Data Deficient, VU = Vulnerable, NE = Not Evaluated, IN = Incidental, ND = No Data, and EN = Endemic

FAMILIA	ESPECIE	CÓDIGO ALFA	IUCN	ENDEMISMO (NOM-059)
Elopidae	<i>Elops saurus</i> Linnaeus, 1766	ELOSAU	LC	IN
Engraulidae	<i>Cetengraulis edentulus</i> (Cuvier, 1829)	CETEDE	NE	IN
Clupeidae	<i>Opisthonema oglinum</i> (Lesueur, 1818)	OPIOGL	LC	ND
	<i>Harengula clupeola</i> (Cuvier, 1829)	HARCLU	NE	IN
Mugilidae	<i>Mugil liza</i> Valenciennes, 1836	MUGLIZ	DD	ND
Belonidae	<i>Strongylura notata</i> (Poey, 1860)	STRNOT	LC	ND
Paralichthyidae	<i>Citharichthys spilopterus</i> Günther, 1862	CITSPI	LC	ND
Carangidae	<i>Hemicaranx amblyrhynchus</i> (Cuvier, 1833)	HEMAMB	DD	EN
	<i>Centropomus parallelus</i> (Poey, 1860)	CENPAR	LC	ND
Centropomidae	<i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch, 1792)	CENUND	DD	IN
	<i>Centropomus poeyi</i> (Chávez, 1961)	CENPOE	DD	EN
	<i>Diapterus rhombeus</i> (Cuvier, 1829)	DIARHO	LC	ND
Gerreidae	<i>Gerres cinereus</i> (Walbaum, 1792)	GERCIN	LC	IN
	<i>Bairdiella chrysoura</i> (Lacepède, 1802)	BAICHR	LC	IN
Serranidae	<i>Diplectrum bivittatum</i> (Valenciennes, 1828)	DIPBIV	LC	IN
Lutjanidae	<i>Lutjanus cyanopterus</i> (Cuvier, 1828)	LUTCYA	VU	IN

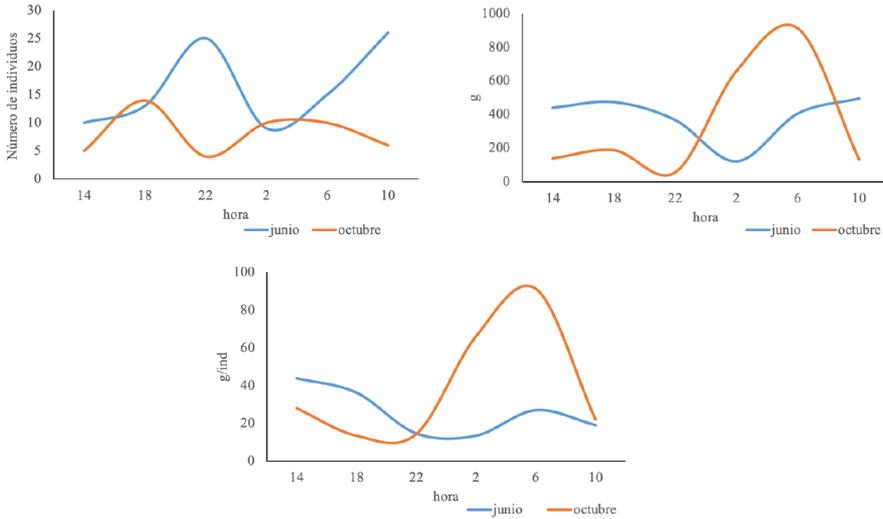


Fig. 5. Comportamiento nictemeral de la abundancia (número de individuos, biomasa y peso promedio) de la comunidad de peces de la laguna Mecoaacán
 Fig. 5. Nycthemeral behavior of abundance (number of individuals, biomass, and average weight) of the fish community of the Mecoaacán lagoon

En cuanto a los indicadores de diversidad, en la figura 6 se muestra el comportamiento nictemeral de la heterogeneidad, equidad y riqueza de especies. El intervalo de variación de la heterogeneidad en la campaña de junio fue de 0.348 bits que se registró a las 14:00 horas y 1.61 bits a las 18:00 horas, en tanto que en octubre el valor más bajo fue de 0.50 bits a las 02:00 horas y el máximo de 1.69 bits a las 14:00 horas. Para la equidad, en junio, los valores oscilaron entre 0.50 bits/ind. a las 14:00 horas y 0.84 bits/ind. a las 02:00 horas, y para octubre el valor mínimo fue de 0.72 bits/ind. registrado a las 02:00 horas y el valor

máximo fue de 0.95 bits/ind. A las 10:00 y 14:00 horas. Para la riqueza de especies en la campaña de junio, el indicador presentó valores entre 0.45 bits/sp a las 14:00 horas y 2.21 bits/sp a las 18:00 horas, mientras en octubre el valor más bajo fue de 0.62 bits/sp a las 02:00 horas y el más alto de 2.17 bits/sp a las 14:00 horas.

En el cuadro 2 se presenta el listado de especies dominantes identificadas en las dos campañas de muestreo. Se representa el 95.2% de la captura total en número de individuos y el 95.91% de la captura total en peso.

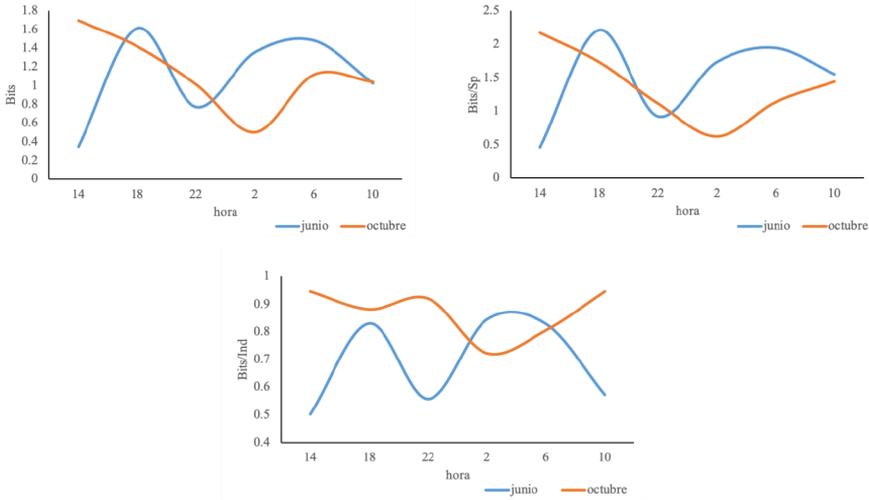


Fig. 6. Comportamiento nictemeral de la diversidad (heterogeneidad, riqueza de especies y equidad) de la comunidad de peces de la laguna Mecoacán
Fig. 6. Nycthemeral behavior of diversity (heterogeneity, species richness and evenness) of the fish community of the Mecoacán lagoon

Cuadro 2. Especies de peces dominantes en la laguna Mecoacán
Table 2. Dominant fish species in the Mecoacan lagoon

ESPECIE	Núm. Ind.	Peso (g)	Núm. Ind. %	Peso%	Frec. %	IIR
<i>Diapterus rhombeus</i>	79	778.1	53.7	17.7	83.3	79 207
<i>Bairdiella chrysoura</i>	14	436.4	9.5	9.9	58.3	5 511
<i>Harengula clupeola</i>	16	262.6	10.9	6.0	66.7	4 330
<i>Strongylura notata</i>	7	816.5	4.8	18.6	33.3	2 946
<i>Elops saurus</i>	5	427.0	3.4	9.7	33.3	1 100
<i>Cetengraulis edentulus</i>	5	135.7	3.4	3.1	25.0	262
<i>Centropomus undecimalis</i>	2	499.9	1.4	11.4	16.7	257
<i>Mugil liza</i>	2	459.5	1.4	10.4	16.7	236
<i>Centropomus parallelus</i>	3	197.7	2.0	4.5	16.7	152
<i>Lutjanus cyanopterus</i>	4	123.0	2.7	2.8	16.7	126
<i>Diplectrum bivittatum</i>	3	83.0	2.0	1.9	16.7	64

En la figura 7 se presenta el resultado del análisis clúster para las once especies dominantes. Con una distancia de corte de dos, se identifican tres asociaciones. El primer grupo está integrado por *Cetengraulis edentulus*, *Centropomus parallelus*, *Centropomus undecimalis*, *Harengula chupeola* y *Mugil liza*. En el segundo grupo se distingue a *Diplectrum bivittatum*, *Elops saurus*, *Diapterus rhombeus* y *Bairdiella chrysoura* y, finalmente, el tercer grupo está integrado por *Strongylura notata* y *Lutjanus cyanopterus*.

El Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) confirma las asociaciones identificadas en el análisis clúster y además integra las asociaciones con las variables ambientales, de las cuales se distingue al pH y al nivel de marea como variables contrastantes (Fig. 8). Los dos ejes representados tienen eigenvalores de 52.92 y 31.95 respectivamente. El análisis destaca la relación existente de la marea con *D. rhombeus* y *B. chrysoura* en el cuadrante cuatro, de la salinidad y pH con *S. notata* y *E. saurus* en el cuadrante uno y las variables de oxígeno disuelto y temperatura con *H. chupeola* y *C. edentulus* en el cuadrante dos. La varianza de las variables ambientales fue de 4.45 cm para marea; 0.29 para salinidad; 0.286 para pH; 0.291 mg/l para oxígeno disuelto y 0.749°C para temperatura.

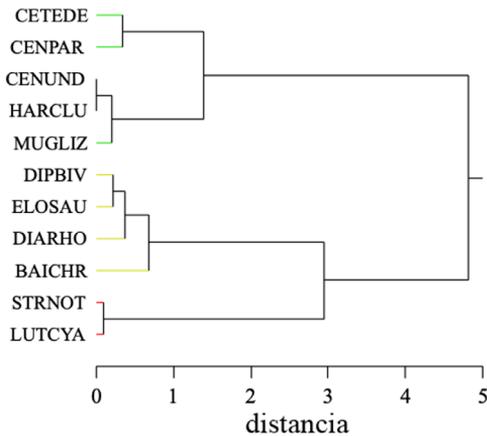


Fig. 7. Clúster de asociación de especies dominantes de la laguna Mecoacán

Fig. 7. Cluster analysis of association of dominant species in the Mecoacán lagoon

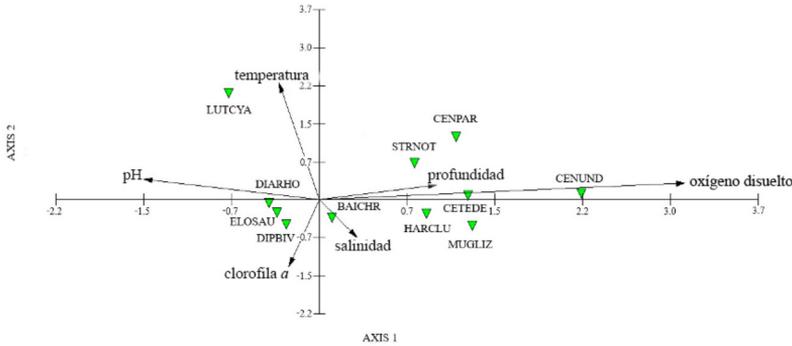


Fig. 8. Análisis de correspondencia canónica respecto a la abundancia de especies dominantes y las variables ambientales

Fig. 8. Canonical correspondence analysis of abundance of dominant species and environmental variables

DISCUSIÓN

De acuerdo con [De la Lanza-Espino & Gómez-Aguirre \(1999\)](#), en la costa de Tabasco se identifican tres épocas climáticas: secas, de enero a mayo; lluvias de mayo a septiembre y nortes de octubre a enero. En este sentido, los resultados de este estudio se ubican en la parte final de la época de lluvias y el inicio de los nortes, lo cual permite describir el escenario ambiental que determinaron los valores de las variables ambientales que se registraron.

El clima en el estado de Tabasco, en general, es cálido húmedo con algunas representaciones de clima cálido subhúmedo. La temperatura media anual es de 27°C, con una máxima de 36°C y una mínima de 18.5°C. Mayo es el mes más caluroso y enero el más frío. Las lluvias se registran en todo

el año, pero son más abundantes entre junio y octubre y se reportan 2 550 mm como la precipitación media anual ([INEGI, 2019](#)).

Bajo este marco climático las observaciones de las variables ambientales medidas en el agua del sitio de muestreo se consideran consecuentes y con un comportamiento nictemeral estadístico normal y, además, con diferencias significativas en cuanto a la salinidad, el oxígeno disuelto y el pH entre los dos de muestreo. En este sentido, además del marco climático, la variabilidad nictemeral y la condición de la marea son evidencias determinantes en los resultados, lo cual coincide con lo que refiere [Domínguez et al. \(2011\)](#). También, [Ayala-Pérez et al. \(2014\)](#) describen los procesos costeros que están relacionados con el comportamiento ambiental como las mareas,

las corrientes litorales, el volumen de descarga de los ríos, la dirección e intensidad de los vientos, la producción primaria y la oxidación de la materia orgánica, principalmente.

La temperatura del agua de fondo en la laguna de Mecoacán fue superior durante el muestreo de octubre, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas con respecto a junio, lo cual se interpreta como una condición normal ya que se trata de una zona tropical con un intervalo de variación de temperatura ambiente anual de 18°C (INEGI, 2019). La salinidad, por el contrario, fue menor en octubre, con diferencias significativas con respecto a junio, lo cual se explica, en concreto, por la prevalencia de las lluvias en la región y el incremento en el volumen de descarga de los ríos asociados. En cuanto al oxígeno disuelto también se identifican diferencias significativas entre los dos periodos de muestreo y con valores superiores en octubre. Este resultado se atribuye a las corrientes de agua que incrementan su velocidad por el aumento en el volumen de descarga de los ríos, debido a las lluvias. También por las condiciones que las lluvias provocan, el pH se ve disminuido en octubre y se observan diferencias significativas con respecto a junio.

Las variables ambientales en la escala nictemeral en la boca de la laguna de Mecoacán reflejan los ciclos de luz-oscuridad (día y noche)

y, particularmente con la salinidad se aprecia el efecto de la marea, que fue contrastante en las dos campañas de muestreo. Resultados similares son presentados por [Montoya & Aguirre \(2009\)](#).

Los resultados que comparan la concentración de la clorofila *a* con la profundidad del sitio de muestreo esquematizan las distintas condiciones que la marea provocó en las dos campañas de muestreo. Por una parte, en junio, se aprecia una sincronía entre la concentración de la clorofila y la profundidad, sin embargo, en octubre se observa un proceso inverso; es decir, mientras la profundidad aumenta la concentración de clorofila disminuye.

[Millán-Núñez & Álvarez-Borrego \(1978\)](#) han descrito que la concentración de clorofila *a* muestra cierta tendencia de variación diurna, asociada a la radiación solar. Así mismo, [Salgado \(2014\)](#) ha documentado mayor concentración de clorofila *a* en horas de día. Por su parte, [Contreras-Espinoza \(1994\)](#), menciona que durante la época de secas la concentración de clorofila *a* en la laguna de Mecoacán podría llegar a 21.4 mg/m³, lo cual estaría asociado a la disponibilidad de luz solar y a la concentración de nutrientes. En el caso de la época de lluvias, el nivel de descarga fluvial provoca la disminución de la salinidad, reduce tiempo de residencia del agua en la laguna y hay un acarreo de los productores hacia la zona costera litoral adyacente

(Gutiérrez-Mendieta *et al.* 2006). En ocasiones, los valores altos de clorofila *a* están ligados a procesos de eutrofización, lo que en general provoca agotamiento del oxígeno disuelto, en específico durante la noche (Domínguez *et al.* 2011). Las áreas con florecimientos fitoplanctónicos reflejan una alta actividad biológica y favorecen el desarrollo de la pesca (Salgado, 2014).

Las especies que habitan las lagunas costeras son consideradas organismos adaptados a la variabilidad continua de las condiciones del hábitat y, su abundancia y diversidad define la salud del ecosistema (Arceo-Carranza *et al.* 2013). Para el caso particular de las especies de peces en sistemas costeros estuarinos existe abundante literatura científica que demuestra su adaptación evolutiva, así como las diversas estrategias de uso del hábitat para el desarrollo de todo o parte de sus ciclos de vida. Dada su capacidad de movimiento, los peces resultan también ser buenos indicadores de la calidad ambiental, ya sea por su presencia, su ausencia o por las asociaciones interespecíficas que establecen.

En este estudio se encontró un total de 16 especies, es importante mencionar que el arte de pesca utilizado fue una red agallera experimental, que es una red selectiva que integra tres luces de malla diferentes con un tiempo de trabajo de cuatro horas. Hernández-Ojendi *et al.* (2019) obtuvieron un total de 27 especies para una red de 10

sitios de muestreo mediante un arte de pesca de arrastre, entre las cuales destacan especies que se consideran recursos pesqueros con valor económico como la lisa, el robalo, los pargos y las anchovetas. Lo que demuestra el valor ecológico de la laguna como ecosistema de soporte.

La variación de los indicadores de abundancia de la comunidad de peces en la laguna es contrastante entre los dos meses de muestreo considerando la escala nictemeral. Durante junio la densidad fue superior, sin embargo, en octubre la biomasa y el peso promedio fueron mayores. Este comportamiento tiene una relación inversa con la variación de la marea, es decir, cuando el nivel de profundidad fue menor en junio (22 h.) se capturó el mayor número de individuos, lo que permitiría inferir que eran organismos que estaban saliendo de la laguna hacia el mar. Este comportamiento se refrenda con lo observado en los indicadores de diversidad ya que a las 22 h. de junio se observa un valle en la heterogeneidad, riqueza de especies y equidad. Para octubre la correspondencia entre la marea y la abundancia y diversidad no es evidente, pero destaca el valle que se presenta entre las 2 y las 6 h. cuando el nivel de marea es alto.

Los valores del índice de equidad se consideran altos de tal forma que, de las 16 especies, 11 se identifican como dominantes, de las cuales *D. rhombeus*, *B. chrysoira* y *H. clupeiola*

se destacan por su abundancia. Comparativamente con los resultados de Hernández-Ojendi *et al.* (2019), se coincide que especies como: *D. rhombeus*, *B. chrysourea* y *C. undecimalis* en efecto dominan por su alta abundancia numérica.

Con la matriz de abundancia nictemeral de las especies dominantes en ambos ciclos de muestreo se realizó un análisis de asociación que reflejó la integración de tres grupos, que utilizan la distancia de corte de uno. Este resultado tiene que ser analizado en función de los hábitos de las especies, de la selectividad del arte de pesca y del contraste ambiental entre los dos momentos de muestreo. Es importante destacar la presencia, abundancia y asociación de *D. rhombeus* y *B. chrysourea* que se caracterizan por presentar migraciones cortas entre la plataforma continental y las lagunas costeras, constituyen especies para forrajeo por su tendencia a formar cardúmenes (Ayala-Pérez *et al.* 2001; Aguirre-León *et al.* 2014). Otra agrupación interesante es la de los centropómidos *C. parallelus* y *C. undecimalis* con *M. liza*, que tienen preferencias marino costeras con migraciones estacionales hacia sistemas estuarinos donde realizan, principalmente, actividades de alimentación. Estas tres especies tienen un aprovechamiento pesquero (Lara-Domínguez *et al.* 1998).

La boca de la laguna de Mecocán muestra que su hidrodinámica es,

en esencia, controlada por la marea y se comporta como un estuario estratificado. El comportamiento general de circulación litoral y el volumen de descarga de agua continental son procesos que también se reflejan en el comportamiento ambiental de la boca de la laguna y, por tanto, en la presencia de especies eurihalinas (Flores-Coto & Pérez-Argudín, 1991).

A través del análisis canónico de las matrices de variables ambientales y de abundancia numérica de las especies dominantes se distinguen, en primer lugar, la coincidencia en la asociación de las especies que arrojó el análisis clúster y, en segundo lugar, el contraste en la proyección de las variables ambientales, donde destacan las varianzas de la salinidad y del oxígeno disuelto, que, en términos generales, condicionan la presencia temporal de la mayor parte de las especies dominantes. A pesar de que la concentración de clorofila *a* se reconoce como la variable que define la productividad primaria, su asociación con las especies dominantes es débil.

Las lagunas costeras del golfo de México están sufriendo transformaciones importantes y pérdida de hábitats por el crecimiento de los asentamientos humanos, la contaminación de la industria petrolera, así como por las prácticas ganaderas y agrícolas, la tala y los incendios provocados. Entre otros efectos se destaca la disminución en diversos servicios ecosistémicos,

además de la pérdida de recursos pesqueros. Para el estado de Tabasco, los cambios en los ecosistemas marinos y costeros muestran evidencias de un incremento en la vulnerabilidad socioambiental, sumado a procesos como el cambio climático, el incremento del nivel del mar, la incidencia e intensidad de huracanes e inundaciones. Entre otras amenazas locales destaca el incremento de la acumulación de sedimentos en las lagunas costeras debido a la deforestación en la parte alta de la cuenca, la eutrofización de los sistemas acuáticos por el incremento en las aportaciones de materia orgánica, la contaminación por metales pesados e hidrocarburos, y, por último, la acumulación de basura (Espinoza-Tenorio *et al.* 2015).

CONCLUSIONES

El análisis de las variables ambientales que compara las campañas de junio y octubre mostró diferencias significativas en salinidad, oxígeno disuelto y pH, lo cual se explica por la temporalidad climática de la zona. En cuanto a la temperatura no se identificaron diferencias estadísticas significativas.

El movimiento de la marea en el sitio de estudio es dinámico y se encontraron condiciones diferentes en cada campaña de muestreo, lo cual fue contrastado con la productividad

primaria mediante la medición de la concentración de la clorofila *a*, al encontrar comportamientos temporales diferentes.

Se capturó un total de 16 especies de peces de entre las cuales se identificaron 11 con dominio ecológico. La selectividad del arte de pesca condiciona el tamaño de la muestra; sin embargo, es evidente que la diversidad de la comunidad neotónica es más grande. Dentro de las especies dominantes se identifican recursos pesqueros de alto valor económico como los robalos, los pargos y la lisa.

Diapterus rhombeus y *Bairdiella chrysoura* fueron las especies dominantes más abundantes y se reconocen como recursos bióticos de soporte para el ecosistema, por su contribución a la dinámica trófica.

Se reconocen tres asociaciones ecológicas dentro de las especies dominantes cuyas características particulares tienen que ser discutidas en un marco de variabilidad ambiental nictemeral, sus preferencias de uso del hábitat y la condición climática de los momentos de muestreo.

El análisis de correspondencia canónica destacó la relación de la salinidad, el oxígeno disuelto y la profundidad (condicionada por la marea) sobre la mayor parte de las especies dominantes, además de que la productividad primaria (concentración de clorofila *a*) tiene una asociación débil con la presencia de las especies.

Se debe considerar la necesidad de generar información sistemática de las condiciones ambientales y de las comunidades bióticas de la laguna de Mecoacán, sobre todo, por la intensa presión antropogénica que se observa, donde destaca el rápido crecimiento urbano, el desarrollo de actividades económicas, en particular la construcción de la refinería de Dos Bocas, así como la concentración de nutrientes y contaminantes provenientes de la planicie costera.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, por permitir la realización de este proyecto, al pescador Oswaldo Sánchez Contreras, quien nos brindó sus conocimientos y facilitó el trabajo de campo, así como a Rosalinda Hernández Ojendi, por el apoyo en la recolecta de datos. Agradecemos a los evaluadores por las recomendaciones.

REFERENCIAS

Aguirre-León, A., Pérez-Ponce, H. E. & Díaz-Ruiz, S. (2014). Heterogeneidad ambiental y su relación con la diversidad y abundancia de la comunidad de peces en un sistema costero del Golfo de México. *Rev. Biol. Trop.* 62(1), 145-163. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i1.8212>

Arceo-Carranza, D., Vega-Cendejas, M. E. & Hernández de Santillana, M. (2013).

Day and night trophic variations of dominant fish species in a lagoon influenced by freshwater seeps. *J. Fish Biol.*, 82(1), 54-68. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03463.x>

Ayala-Pérez, L. A., Gómez-Montes, B. A. & Ramos-Miranda, J. (2001). Distribución, abundancia y parámetros poblacionales de la mojarra *Diapterus rhombeus* (Pisces: Gerreidae) en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Rev. Biol. Trop.*, 49(2), 635-642.

Ayala-Pérez, L. A., Ramos-Miranda, J., Flores-Hernández, D., Sosa-López, A. & Martínez-Romero, G. E. (2015). *Ichtiofauna marina y costera de Campeche*. México. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Instituto EPOMEX, Campeche.

Ayala-Pérez, L. A., Vasco-Villa, O. & Sosa-López, A. (2014). Evaluación de las asociaciones de peces dominantes influenciados por el ciclo nictemeral y la variación temporal en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche, México. *CienciaUAT*, 9(1), 33-43.

Barba-Macias, E., Rangel-Mendoza, J. & Ramos-Reyes, R. (2006). Classification of Tabasco wetlands using a geographic information system. *Univ. Ciencia Tróp. Húm.*, 22(2), 101- 110.

Barreiro-Güemes, M. T. & Signoret-Poillon, M. (1999). *Productividad primaria en sistemas acuáticos costeros. Métodos de evaluación*. (1st. Ed.). México. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

Campos-Campos, B., Custodio-Osorio, T. N., Torres-Sauret, C., Rivas-Acuña, M. G. & Cruz- Rosado, L. (2012). Registro preliminar de la composición fitoplanctónica de la laguna Mecoacán, Paraíso, Tabasco, México. *Kuxulkab'*, 18(34), 65-72.

- Carpenter, K. E. (2002a). Bony fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae). In K. E. Carpenter (Ed.). *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic*. Volume 2 (pp 670-1370). Special Publication No. 5. Italy. FAO
- Carpenter, K. E. (2002b). Bony fishes part 2 (Ophistognathidae to Molidae) sea turtles and marine mammals. In K. E. Carpenter (Ed.). *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic*. Volume 3 (pp. 1375-2014). Special Publication No. 5. Italy. FAO.
- Castro, J. L., Schmitter, J. J. & Espinoza, H. S. (1999). *Ictiofauna estuarino lagunar y vicaria de México*. (1st ed.). México. Limusa.
- Cervigón, F., Cipriani, R., Fischer, W., Garibaldi, L., Hendrickx, M. & Lemus, A. J. (1992). *Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur América*. Italia. FAO.
- Ciprés-Chávez, A., Ayala-Pérez, L. A., Rojas-Rubio, G. R. & Sosa-López, A. (2017). Abundancia nictemeral de la comunidad de peces en la Reserva de la Biósfera “Los Petenes”, Campeche, México. *Áreas Naturales Protegidas Scripta.*, 3(2), 33-50. <https://doi.org/10.18242/anpscripta.2017.03.03.02.0002>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2018). *Proyecto Resiliencia. Áreas Naturales Protegidas. Soluciones naturales a retos globales*. México. CONANP-PNUD.
- Contreras-Espinoza, F. (1993). *Ecosistemas Costeros Mexicanos*. (17th ed.). México. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
- Contreras-Espinoza, F. (1994). La clorofila como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *Anal. Inst. Cien. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México.*, 21(1-2), 55-66.
- De la Lanza-Espino, G. & Gómez-Aguirre, S. (1999). Fisicoquímica del agua y cosecha de fitoplancton en una laguna costera tropical. *Ciencia Ergosum*, 6(2), 147-153.
- Díaz-Martínez, L. Y. (2015). *Valor de hábitat en tres tipos de sustrato en un estuario tropical de Tabasco*. (Tesis de Maestría no publicada). El Colegio de la Frontera Sur Unidad Villahermosa.
- Domínguez, J. C., Sánchez, A. J. & Barba, E. (2003). Distribución de macrocrustáceos en laguna Mecoacán, al sur del Golfo de México. *Hidrobiológica*, 13(2), 127-136.
- Domínguez, J. A., Rodríguez, D., Marcos, C., Chao, Y. & Delgado, G. (2011). *Estudio de aguas continentales mediante tele-detección*. España. UNED Ciencias.
- Espinoza-Tenorio, A. & Mendoza-Carranza M. (2015). Pesquerías costeras de Tabasco: problemáticas actuales y escenarios futuros ante el cambio climático. En F. Paz., J. Wong & R. Torres (Eds.), *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2015* (pp. 554-558). México. Universidad Autónoma del Estado de México. Programa Mexicano del Carbono. Instituto Nacional de Ecología.
- Espinoza-Tenorio, A., Zepeda-Domínguez, J. A., Núñez-Gómez, J. C., Mendoza-Carranza, M. & Barba-Macias, E. (2015). ¿De la intuición al conocimiento científico? Publicaciones sobre las lagunas costeras de Tabasco, México. *Inter-ciencia*, 40(7), 448-456.
- FAO. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. Italia. FAO.

- Flores-Coto, C. & Pérez-Argudin, M. (1991). Efecto de la marea en el paso de larvas de sciaenidos (Pisces) en boca del Carmen, laguna de Términos, Campeche. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México.*, 18(1), 25-35.
- Garrido-Mora A., Félix-Torres, F. J., Sánchez-Alcudia Y., Sánchez-Martínez, A. D. J., Ramos-Palma, J. L. & Granados-Berber, A. (2014). Abundancia poblacional del ostión *Crassostrea virginica* en la laguna Mecoacán del estado de Tabasco, México. *Kuxulkab*, 17(32), 97-100.
- George-Zamora, A. & Aldana-Aranda, D. (2000). Producción somática de dos especies de *Crassostrea virginica* e *Ischadium recurvum* (Bivalvia) en Mecoacán, Tabasco, México. *Rev. Biol. Trop.*, 48(1), 65-75.
- Gutiérrez-Mendieta, F. J., Varona-Cordero, F. & Contreras-Espinoza, F. (2006). Caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del estado de Chiapas, México. *Hidrobiológica*, 16(2), 137-146.
- Hernández-Ojendi, R., Ayala-Pérez, L. A., Esquivel-Herrera, A. & Vega-Rodríguez, B. I. (2019). Estructura de la comunidad de peces de la laguna Mecoacán, Tabasco, México. *JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático*, 2(1), 1-18. <https://doi.org/10.26359/52462.0120>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). Climatología de Tabasco. <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tab/territorio/clima.aspx?tema=me&e=27>
- International Union for Conservation of Nature's (IUCN). (2021). The IUCN red list of threatened species. <https://www.iucnredlist.org>
- Koranteng, K. (2001). Structure and dynamics of a demersal assemblage on the continental shelf and upper slope off Ghana, West Africa. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 220, 1-12. <https://doi.org/10.3354/meps220001>
- Kovach, W. L. (2007). MVSP - A MultiVariate Statistical Package for Windows, versión 3.1. United Kingdom. United Kingdom. Kovach Computing Services.
- Lara-Domínguez, A. L., Yáñez-Arancibia, A. & Seijo, J. C. (1998). Valuación económica de los servicios de los ecosistemas: Estudio de caso de los manglares en Campeche. En CONABIO-INE (Ed.) *Aspectos Económicos sobre la Biodiversidad de México* (pp. 23-44). México: CONABIO. SEMARNAT.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. EE. UU.: Blackwell Science.
- Margalef, R. (1969). *Perspectives in ecological theory*. EE. UU.: The University of Chicago Press.
- Medellín, G. & Meriño-Tapia, I. (2013). Influencia de la marea en la hidrodinámica del sistema Mecoacán-Río González, México. *Tecnol. Cienc. Agua*, 4(2), 71-90.
- Millán-Núñez, R. & Álvarez-Borrego, S. (1978). Series de tiempo de clorofilas a, b y c, y sus feofitinas en las bocas de dos lagunas costeras. *Ciencias Marinas*, 5(2), 41-52. <https://doi.org/10.7773/cm.v5i2.323>
- Montoya, Y. & Aguirre, N. (2009). Cambios nictemerales de variables físicas y químicas en la Ciénaga de Paticos, complejo cenagoso de Ayapel, Colombia. *Rev. Biol. Trop.*, 57(3), 635-646. <https://doi.org/10.15517/rbt.v57i3.5480>
- Nelson, J., Grande, T. & Wilson, M. (2016). *Fishes of the World*. (5th ed.). EE. UU.: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119174844>

- Núñez-Gómez, J. C., Ramos-Reyes, R., Barba Macías, E., Espinoza Tenorio, A. & Gama Campillo, L. M. (2016). Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. *Invest. Geog.*, (91), 70-85. <http://doi.org/10.14350/rig.50172>
- Páramo, S. & Arias, L. (2019). Peces exóticos. En CONABIO (Ed.). *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado*. Vol. III. (pp. 120-129). México: CONABIO.
- Pérez-Sánchez, E., Muir, J. & Ross, L.G. (2002). Coastal aquaculture and sustainable livelihoods in Mecoacán, Tabasco, México. *Univ. Ciencia.*, 35(18), 42-52.
- Pielou, E. C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.*, 13, 131-144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
- Reyes, H., Florido, R., Álvarez, N., Sánchez, A. J., Salcedo, A. & Hernández, C. (2013b, mayo). *Hábitos alimentarios del bagre Cathorops aguadulce (Meek 1904) en la Laguna Mecoacán, Tabasco*. Ponencia presentada en el Tercer Simposio de la Red para el Conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste de México.
- Reyes, H., Florido, R. A. & Sánchez Martínez, A. (2013a, marzo). *Comparación interanual (2000 y 2012) de ictiofauna en laguna Mecoacán, sur del golfo de México*. Ponencia presentada en el IV Congreso Mexicano de Ecología, Villahermosa, Tabasco. México.
- Salgado, L. (2014). Variabilidad de la clorofila *a* en las aguas costeras de la península Ibérica entre 1998 y 2007 usando datos de SeaWifs. (Tesis de grado no publicada). Universidad de Vigo. España.
- Shannon, C. E. & Weaver, W. (1963). *The mathematical theory of communication*. (16th ed.). EE. UU.: University of Illinois Press.
- Valdez, J., Pacheco, C. J., Gordillo, E. J. & Gama, L. M. (2019). El corredor biológico mesoamericano. En CONABIO. (Ed.). *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado*. Vol. III. (pp. 181-187). México.: CONABIO.
- Vázquez, F. & Alexander, H. M. (2002, octubre). *Evaluación integral de la laguna de Mecoacán, Municipio de Paraíso, Tabasco*. Ponencia presentada en el XIII Congreso Nacional de Oceanografía. Puerto Vallarta, Jalisco, México.

Tsunami de las islas Kermadec del 4 de marzo del 2021: registros, modelado numérico y atención del evento para Costa Rica

The March 4, 2021 Kermadec Islands tsunami: records, numerical modeling and warnings in Costa Rica

Hernán Porras-Espinoza^{1,2}, Silvia Chacón-Barrantes¹, Anthony Murillo-Gutierrez¹ y Fabio Rivera-Cerdas¹*

RESUMEN

El 4 de marzo de 2021 ocurrió un sismo de $M_w=8.1$ en la trinchera de Tonga-Kermadec, que generó una advertencia de tsunami por parte del Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC). Se presenta un evento por parte de SINAMOT, que actúa como Centro Nacional de Alerta de Tsunamis (NTWC) en Costa Rica. El tiempo de viaje fue cerca de 15 horas y permitió utilizar el modelado numérico de inundación por tsunami como una herramienta más en la toma de decisiones. Las alturas modeladas concuerdan bien con los registros en los mareógrafos del país. El tsunami tuvo una altura máxima de 17.6 cm en el mareógrafo de la Marina Pez Vela en Quepos y de 6.1 cm en el de bahía Chattam en la isla del Coco y es el primer registro en este mareógrafo desde su instalación en marzo de 2018. Además, en bahía Wafer (isla del Coco) se filmó al tsunami subiendo por el río y se reportaron corrientes fuertes, las cuales no fueron reproducidas por el modelo numérico. El contraste de estos efectos y una altura tan pequeña registrada en el mareógrafo, junto con los efectos de tsunamis anteriores, como el de Japón 2011, confirman la presencia de un efecto local para la bahía Wafer. Para el resto del país las alturas de tsunami pronosticadas por el PTWC resultaron ser una sobreestimación, lo que concuerda con el resultado del análisis de amenaza realizado por SINAMOT en primera instancia.

Palabras clave: atención evento, Kermadec 2021, modelado numérico, registro mareográfico, tsunami Costa Rica

ABSTRACT

On March 4, 2021 a $M_w=8.1$ earthquake at the Tonga-Kermadec Trench generated a tsunami threat warning from the Pacific Tsunami Warning Center (PTWC). Costa Rica's National Tsunami

- 1 Sistema Nacional de Monitoreo de Tsunamis (Sinamot), Universidad Nacional, Costa Rica silviach@una.ac.cr; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1659-1768>; anthony.murillo.gutierrez@una.ac.cr; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1545-6874>; fabio.rivera.cerdas@una.ac.cr ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4922-9650>
- 2 Departamento de Ciencias Marinas - Red Sísmica de Puerto Rico (PRSN), Universidad de Puerto Rico-Mayagüez. hernan.porras@upr.edu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3142-9200>

Monitoring System (Sinamot), acting as the National Tsunami Warning Center (NTWC), issued a warning about the possibility of a tsunami. The travel time of approximately 15 hours allowed the use of tsunami (flooding) numerical modeling as an additional decision support tool. The modeled tsunami heights agreed well with the records from two Costa Rican tide gauges. The tsunami reached a maximum height of 17.6 cm at Quepos (Pez Vela Marina) and 6.1 cm at the Chatham Bay tide gauge at Cocos Island, which was the first tsunami recorded at this gauge since its deployment in March 2018. At Wafer Bay on Cocos Island witnesses filmed the tsunami running upriver and reported strong currents which were not predicted by the model. The contrast between these effects and the small height recorded at the nearby gauge, together with the effects of previous tsunamis, such as the one that occurred in Japan in 2011, confirmed a local effect at Wafer Bay. For the rest of the country the PTWC forecast overestimated the tsunami heights that were actually recorded, which in turn agreed with the first threat analysis carried out by the Sinamot.

Keywords: Tsunami warning, Kermadec 2021, numerical modeling, tide gauge record, Costa Rica tsunami

INTRODUCCIÓN

El jueves 4 de marzo del 2021 a la 1:28 p. m., hora de Costa Rica (04-03-2021 19:28 UTC), ocurrió un sismo en las islas Kermadec, Nueva Zelanda, con magnitud $M_w = 8.1$. Este sismo fue causado por la subducción de la placa del Pacífico bajo la placa Australiana. El epicentro se ubicó al sur de la isla Raoul en las islas Kermadec, parte de las islas periféricas de Nueva Zelanda (Fig. 1A).

Como resultado, se generó un pequeño tsunami que fue registrado por mareógrafos en toda la cuenca del océano Pacífico (Fig. 1B). La altura máxima de este se registró en las costas de Nueva Zelanda con 64 cm en Norfolk, mientras que en el margen Pacífico de Sudamérica y Centroamérica se registraron alturas menores (NOAA/NCEI, 2021). Asociados a este evento,

el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC) emitió hasta 20 boletines de tsunami para los países del Pacífico, quienes tomaron diversas acciones.

Este evento tomó especial relevancia para Costa Rica ya que, debido a su direccionalidad, la trinchera Tonga-Kermadec ha sido considerada como una de las regiones generadoras de tsunamis con mayor potencial de amenaza para el país (Chacón-Barrantes & Arozarena-Llopis, 2021). Este es el primer sismo importante que sucede en la trinchera de Tonga-Kermadec desde la fundación del SINAMOT, en 2014. El único registro adicional de tsunami originado en esa zona y registrado en Costa Rica ocurrió en el 2006.

El SINAMOT posee modelos de inundación por tsunami en varias localidades de la costa del Pacífico de Costa Rica, sin embargo, solo se

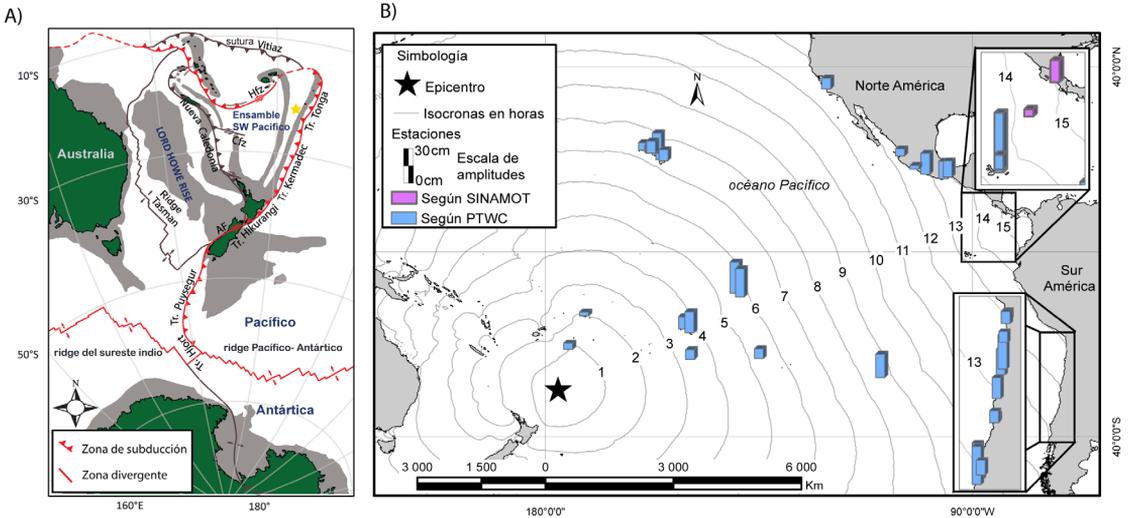


Fig. 1A. Mapa que muestra el epicentro del sismo Mw 8.1 del 4 de marzo de 2021. B. Las líneas de tiempo de viaje del tsunami en horas. También se registran las alturas del tsunami registradas en los mareógrafos. El mapa indica la ubicación y altura registrada en cada estación en el Pacífico. Mientras que los colores representan las alturas reportadas por el PTWC y cuales por SINAMOT Fig 1A. Map showing the epicenter of the Mw 8.1 earthquake on March 4, 2021. B. The tsunami travel time in hours. Tsunami heights recorded on tide gauges. The map shows the location and height recorded at each station in the Pacific, while the colors represent which heights were reported by the PTWC and which by SINAMOT

cuenta con mareógrafos en Quepos y la isla del Coco para efectos de verificación (Fig. 2). En el caso de Quepos, el instrumento fue reubicado en diciembre de 2014, debido a la construcción de la Marina Pez Vela. El nuevo modelo de inundación de tsunami de Quepos ha sido verificado con dos registros mareográficos, el del tsunami de Chile de 2015 (Chacón-Barrantes & Gutiérrez-Echeverría, 2017) y el de México de 2017 (Chacón-Barrantes, 2018). En el caso de la isla del Coco,

el mareógrafo fue instalado en marzo de 2018, por lo que hasta el momento no se contaba con ningún registro de tsunami para verificar el modelo de inundación. La verificación de los modelos numéricos de inundación por tsunami permite asegurar que la batimetría y topografía empleadas en la construcción del modelo, así como los parámetros físicos y numéricos escogidos, reproducen la respuesta ante tsunamis de la zona representada.

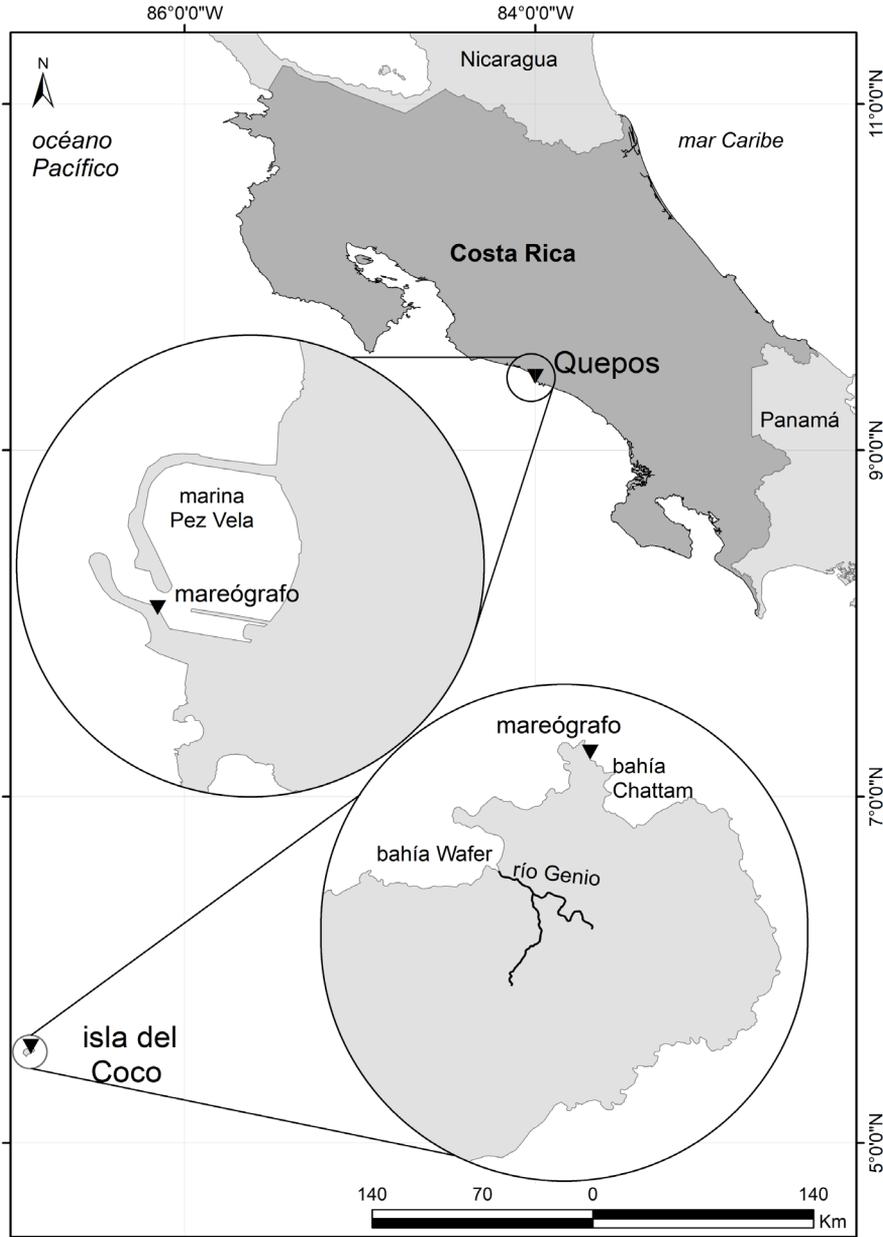


Fig. 2. Ubicación de los mareógrafos de la isla del Coco y Quepos. También se muestra la bahía Wafer y el río Genio, en la isla del Coco

Fig. 2. Location of Isla del Coco and Quepos tide gauges, also showing the Wafer Bay and the Genio River, on Cocos Island

El objetivo de este trabajo es validar los modelos de inundación de la isla del Coco y de Quepos por medio de la simulación de este tsunami y la comparación con sus registros en los mareógrafos. El modelo de la isla del Coco se verifica por primera vez y, en el caso de Quepos, es una verificación más, con un registro proveniente de esta región en particular. Antes de su reubicación, el mareógrafo de Quepos solo había registrado un tsunami de esta región, el de Tonga de 2006. Además, se hará un repaso de la respuesta operativa ante el evento y del manejo de la amenaza en Costa Rica, así como de las lecciones aprendidas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis de amenaza por tsunami

El SINAMOT cuenta con procedimientos operativos estandarizados (SOPs por sus siglas en inglés) para la atención de posibles eventos tsunamigénicos y se emplean varias herramientas como apoyo en el análisis de dicha amenaza. Una de ellas es el programa Tide Tool, que permite ver en tiempo real las mediciones de nivel del mar tanto en mareógrafos como en boyas de tsunami como DARTs (Weinstein *et al.* 2012). También se cuenta con un catálogo de tsunamis históricos que han sido observados en el país (Chacón-Barrantes *et al.* 2021) y con estudios preliminares de

amenaza por tsunami para la costa del océano Pacífico (Chacón-Barrantes & Arozarena-Llopis, 2021) y del mar Caribe del país (Zamora *et al.* 2021).

Adicionalmente, el SINAMOT ha configurado modelos de inundación por tsunami en varias localidades del Pacífico y del Caribe. Estos modelos pueden usarse para pronósticos de alturas de tsunamis en tiempo real, en algunos casos en los que el tiempo de viaje del tsunami sea cercano a las 15 horas. Su utilización para este evento, en particular, se detalla en resultados y discusión.

Para efectos operativos, SINAMOT tiene dividida la costa del Pacífico del país en seis subregiones: Pacífico norte, península de Nicoya, golfo de Nicoya, Pacífico central, Pacífico sur e isla del Coco. En el caso del Caribe, la costa se divide en dos subregiones: Caribe norte y sur.

También para efectos operativos, SINAMOT ha definido cuatro posibles niveles de amenaza:

- Ninguna: no implica ninguna amenaza ni se recomienda ninguna acción,
- Baja: implica amenaza solo para actividades acuáticas por la eventual presencia de corrientes fuertes,
- Media: implica inundaciones menores,
- Alta: implica inundaciones mayores.

Relevancia de la trinchera Tonga-Kermadec para Costa Rica

Las islas gemelas de Nueva Zelanda comprenden un sistema de deformación tectónica, controlado principalmente por el movimiento relativo entre las placas del Pacífico y Australia (Fig. 1A).

Al noreste de la isla Norte, a lo largo de las trincheras de Hikurangi-Kermadec, la litosfera oceánica del Pacífico se subduce casi ortogonalmente debajo de la placa australiana, a una velocidad de 40 a 60 mm/año (Beavan *et al.* 2016). Mientras que, en el sureste de la isla Norte, la subducción ha desarrollado un arco volcánico que se estrecha hacia el sur (la cadena volcánica Taupo) y se extiende desde la punta de la cordillera Tonga-Kermadec en la bahía de Plenty, a lo largo de gran parte de la isla Norte (Ballance *et al.* 1999).

Scherwath *et al.* (2008) muestran que en la fosa de Kermadec, el plateau de Hikurangi se subduce debajo de la isla Norte de Nueva Zelanda con un ángulo bajo de buzamiento de 4-6°, entre 4 km y 13 km de profundidad, con un aumento en el buzamiento a 25°, en profundidades mayores a los 13 km. En este sitio, los terremotos más grandes incluyen los de 1855 ($M \sim 8.2$) y 1942 ($M \sim 7.2$) en Wairarapa, los de 1863 ($M \sim 7.5$), 1931 ($M \sim 7.3$) de Hawke's Bay (Shi *et al.* 2019).

Aunque en tiempos históricos, la fosa de Kermadec solo ha producido

dos eventos de subducción con $M_w \sim 8$, esta zona tiene capacidad para producir terremotos con un alto potencial de tsunamis. Por ejemplo, Goff *et al.* (2010) sugieren que un gran paleotsunami ocurrió hace aproximadamente 600 años en esa zona y muestran evidencia de tres grandes eventos en los últimos 6 000 años, lo que da un período de retorno de alrededor de 2 000 años para los tsunamis más grandes.

Eventos como los de Tonga-Kermadec están en el límite de lo que se puede distinguir por depósitos de paleotsunami. Como tales, se espera que ocurran con más frecuencia que los eventos más grandes, con un período de retorno del orden de 500 años (Goff *et al.* 2010). Esta región, además, ha sido considerada como una de las generadoras de tsunamis con mayor potencial de amenaza para Costa Rica (Chacón-Barrantes & Arozarana-Llopis, 2021), por lo que los eventos originados en ella tienen una mayor relevancia para el país.

Modelado numérico de propagación e inundación de tsunamis en tiempo real

Para el modelado numérico de propagación e inundación por tsunami se utilizó ComMIT (CommunityModelInterfacefor Tsunamis) (Titov *et al.* 2011), el cual es una interfaz gráfica de MOST (Titov & González, 1997). Este modelo permite el uso de tres mallas anidadas en dos vías cerca de la

costa (A, B y C), las cuales están, a su vez, anidadas a una malla exterior en una vía; la malla exterior cubre todo el océano Pacífico con una resolución de 4 minutos.

Para construir la batimetría de las mallas de la isla del Coco se usaron los datos levantados en bahía Wafer por la Unidad de Ingeniería Marítima de Ríos y Estuarios (IMARES) del Instituto de Investigaciones en Ingeniería (INII) de la Universidad de Costa Rica (UCR) y cartas náuticas digitalizadas por ellos. Se construyeron mallas con resoluciones de 30. 5 y 1 segundos. En el caso de Quepos se construyeron mallas con resoluciones de 24. 3 y 0.5 segundos. Se emplearon datos de batimetría pertenecientes al Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) en los alrededores de la Marina Pez Vela y se realizó un levantamiento de la batimetría del resto de la bahía. Para la topografía se emplearon datos Lidar con una resolución horizontal de 1 metro, submuestreados a la resolución de la malla. Estos datos pertenecen a la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) y se combinaron con datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) para cubrir toda la extensión de las mallas. La batimetría de la malla C de Quepos es diferente a la empleada en [Chacón-Barrantes & Gutiérrez-Echeverría \(2017\)](#) y [Chacón-Barrantes \(2018\)](#), ya que el levantamiento

batimétrico mencionado se efectuó en el año 2019.

Para la fuente del tsunami se utilizó la combinación lineal de fuentes unitarias precalculadas que son planos de falla de 100x50 km con slip de 1 m y geometría acorde a la zona de subducción para todo el Pacífico ([Titov et al. 2011](#)). Se usó una combinación lineal de estas fuentes, dado que los tsunamis se comportan de forma lineal durante su propagación en aguas profundas. Para simularlo se usaron las fuentes unitarias nt18a y nt19a de ComMIT ([Titov et al. 2011](#)), con slip de 0.303 y 6.319 m, respectivamente. Por lo tanto, se empleó una combinación lineal dada por la ecuación $0.303*nt18a+6.319*nt19$, la cual fue verificada con registros del tsunami en boyas DART, por medio de la herramienta Tweb ([Burger et al. 2013](#); [Burger et al. 2014](#); [Kambet al. 2014](#); [Bernard & Titov, 2015](#)).

RESULTADOS

Atención del tsunami de islas Kermadec del 4 de marzo de 2021

El sismo sucedió el 4 de marzo del 2021 a las 13:28, hora de Costa Rica (19:28 UTC). Entre las 13:37 del 4 de marzo hasta las 06:22 del 5 de marzo (horas de Costa Rica, CR) SINAMOT recibió 20 boletines de amenaza de tsunami del Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC) y

emitió 7 reportes relacionados con este evento (Fig. 3). En esta sección se detallan las acciones que se dieron para analizar la amenaza de tsunami para Costa Rica relacionada con este evento. A no ser que se indique lo contrario, todas las horas dadas en esta sección corresponden a la hora de Costa Rica (-06:00 UTC).

El **Boletín 1** de Amenaza de Tsunami del PTWC fue recibido por SINAMOT a las 13:37 (CR), el cual indicaba una magnitud $M_w=8.0$. En este primer boletín nuestro país no se encontraba en la lista de los países bajo amenaza de tsunami. Como resultado del análisis de la información relacionada con este evento, el SINAMOT envió el **Reporte 1** en el que se indicó que la amenaza para la costa Pacífica de Costa Rica era “Ninguna”. Esta condición se mantuvo después de recibir el **Boletín 2** del PTWC, ya que no hubo cambios en la información recibida en él, ni en las estaciones de nivel del

CRONOLOGÍA ATENCIÓN DEL TSUNAMI ISLAS KERMADEC, 4 MARZO, 2021
(ENTRE EL 4 Y 5 DE MARZO)

TERREMOTO MW 8.0

19:28 UTC (13:28 CR)

BOLETÍN 1 PTWC

19:37 UTC (13:37 CR)

● REPORTE 1 SINAMOT (13:41 CR)

BOLETÍN 2 PTWC

19:58 UTC (13:58 CR)

BOLETÍN 3 PTWC

20:23 UTC (14:23 CR)

● REPORTE 2 SINAMOT (14:56 CR)

BOLETÍN 4 PTWC

21:26 UTC (15:26 CR)

BOLETÍN 5 PTWC

22:24 UTC (16:24 CR)

BOLETÍN 6 PTWC

23:39 UTC (17:39 CR)

BOLETÍN 7 PTWC

00:25 UTC (18:25 CR)

BOLETÍN 8 PTWC

1:24 UTC (19:24 CR)

● REPORTE 3 SINAMOT (19:44 CR)

BOLETÍN 9 PTWC

02:24 UTC (20:24 CR)

BOLETÍN 10 PTWC

03:29 UTC (21:29 CR)

BOLETÍN 11 PTWC

04:23 UTC (22:23 CR)

BOLETÍN 12 PTWC

05:20 UTC (23:20 CR)

● REPORTE 4 SINAMOT (00:11 CR)

BOLETÍN 13 PTWC

06:26 UTC (00:26 CR)

BOLETÍN 14 PTWC

07:21 UTC (01:21 CR)

● REPORTE 5 SINAMOT (01:51 CR)

BOLETÍN 15 PTWC

08:22 UTC (02:22 CR)

BOLETÍN 16 PTWC

09:22 UTC (03:22 CR)

● REPORTE 6 SINAMOT (04:17 CR)

BOLETÍN 17 PTWC

10:22 UTC (04:22 CR)

BOLETÍN 18 PTWC

11:25 UTC (05:25 CR)

BOLETÍN 19 PTWC

12:22 UTC (06:22 CR)

● REPORTE 7 SINAMOT (06:53 CR)

BOLETÍN 20 PTWC (FINAL)

13:22 UTC (07:22 CR)

Fig. 3. Cronología de recepción de boletines PTWC y envío de reportes SINAMOT

Fig. 3. Timeline on the reception of PTWC bulletins and issuance of SINAMOT reports

mar monitoreadas en Tide Tool, ni en otras fuentes de información.

Sin embargo, a las 14:23 (CR) del 4 de marzo se recibió el **Boletín 3** del PTWC en el que se modifica la magnitud del sismo a $M_w=8.1$, lo que aumentó los niveles de amenaza por tsunami para las diferentes regiones del mundo, incluida Costa Rica. En este tercer boletín, el PTWC pronosticó alturas para nuestro país en el rango de 30 cm a 1 metro. Además, incluía la estimación de arribo del tsunami para las diferentes regiones de Costa Rica durante el 5 de marzo: para la isla del Coco a las 03:37, para el cabo Santa Elena a las 04:12 (CR), para Quepos a las 04:23 (CR), y para cabo Matapalo a las 04:25 (CR).

SINAMOT emitió el **Reporte 2** a las 14:56 (CR) del 4 de marzo, donde se indica que, si bien el PTWC pronosticaba alturas de entre 30 cm y 1 metro, no necesariamente significaba que se iban a presentar inundaciones, y que la vigilancia se iba a mantener. Antes de emitir este reporte, se realizaron simulaciones numéricas, con las que se estimó que no había posibilidad de afectación para Costa Rica y solo se tendría un registro instrumental en los mareógrafos.

En el **Boletín 4** del PTWC se indica el primer registro del tsunami en una estación de nivel del mar, el mareógrafo de Nukualofa, Tonga, con una altura máxima de 3 cm hasta ese momento y un período de 14 minutos.

Una altura de tsunami tan pequeña, en una localidad tan cercana al epicentro concuerda con el pronóstico que habíamos realizado.

A partir del **Boletín 4** hasta el **Boletín 19** el PTWC entregó y actualizó las mediciones de nivel del mar en los mareógrafos y boyas DART a lo largo del Pacífico. De acuerdo con el **Boletín 8** del PTWC, para las 19:24 (CR) el tsunami se había registrado en 13 estaciones de nivel del mar, de las cuales la que tenía el valor máximo de altura era Kingston, isla de Norfolk, con un máximo hasta ese momento de 56 cm. De las demás 12 estaciones, 2 tenían alturas máximas de 30 cm, 5 tenían alturas máximas de entre 10 y 20 cm y las otras 5 tenían alturas máximas de menos de 10 cm. De los 7 estados en los que se encuentran las 13 estaciones mencionadas, 2 de ellos estaban en el rango de pronóstico de alturas del PTWC de 1 a 3 metros, y las alturas registradas en ellos fueron de 30 cm en Lenakel, Vanuatu y 11 cm en Mare, Nueva Caledonia. Los otros 5 estados estaban en el rango de pronóstico de alturas de 30 cm a 1 metro y la única estación que registró alturas máximas de tsunami en ese rango fue Kingston, isla de Norfolk, con 56 cm. Las estaciones de nivel del mar en los otros 4 estados registraron alturas máximas de tsunami menores a 30 cm, lo que podría indicar que la altura en Kingston se debía a un efecto local. Si bien se sabe que las alturas de tsunami

dependen fuertemente de la morfología costera, siendo posible que haya variaciones muy grandes de alturas entre localidades vecinas, los rangos de alturas máximas registradas hasta ese momento apuntaban a que las alturas de tsunami se habían sobreestimado en los pronósticos hechos por el PTWC. Sin embargo, los pronósticos de altura dados, de manera inicial por el PTWC no se actualizaron, ni en ese momento, ni conforme se desarrollaba el evento, ya que como ellos nos indicaron después, no es parte de sus protocolos. Además, con los registros en los mareógrafos y boyas DART a lo largo del Pacífico, fue volviéndose evidente que las horas de arribo estaban subestimadas para las diferentes localidades.

Basados en esto y en los resultados de las simulaciones numéricas realizadas, el **Reporte 3**, enviado por SINAMOT a las 19:44 (CR) del 04 de marzo, mantenía el nivel de amenaza “Ninguna”. Como las lecturas en los mareógrafos cerca del sitio de origen del tsunami eran inferiores a los 60 cm, era muy poco probable que las alturas del tsunami en nuestro país fueran de ese mismo orden o mayor, después de haber recorrido todo el océano Pacífico. Además, no aparecían noticias en los medios de prensa relacionadas con inundaciones grandes, causadas por el tsunami cerca de la zona de generación. Por todo esto se estimó que ni siquiera se iban a dar corrientes fuertes.

Sin embargo, a las 00:00 horas del 05 de marzo, SINAMOT recibió una llamada del PTWC indicando que los pronósticos que ellos hicieron eran confiables y, por lo tanto, se podían esperar alturas de hasta un metro en nuestro país. Además, indicaron que las localidades cercanas al epicentro del sismo son islas muy pequeñas, poco pobladas, con pocas estaciones de nivel del mar y mala conectividad a internet, por lo que podríamos estar “a ciegas” respecto a lo que realmente había pasado. A pesar de que esto contradecía el análisis de amenaza realizado hasta el momento y las alturas del tsunami que habíamos visto en las estaciones de nivel del mar, SINAMOT decidió tomar una decisión conservadora y elevar el nivel de amenaza. Por lo tanto, el 05 de marzo a las 00:11 (CR) se genera el **Reporte 4** del Sinamot donde se decide pasar el nivel de amenaza de “Ninguna” a “Baja”, para toda la costa del Pacífico costarricense. Este nivel de amenaza implica, según la categorización del SINAMOT, la posibilidad de que se presenten corrientes fuertes y peligrosas. En este reporte se dieron una serie de recomendaciones que incluían la suspensión de la navegación, especialmente en canales angostos, ríos y esteros. Además, se recomendó a las personas alejarse de la playa y para las embarcaciones pequeñas la recomendación fue regresar a tierra antes de las 3:00 a. m., o ir a profundidades

mayores a los 100 m (300 pies) antes de esa hora. Como consecuencia de este reporte, la CNE activó a sus comités municipales y comunales costeros comunicándoles las recomendaciones. En el **Boletín 12** de las 23:20 (CR), el PTWC informó sobre el primer registro de este tsunami en Latinoamérica, en la isla de Pascua (Chile) con una altura de 14 cm y un periodo de 6 min, valores que fueron actualizados a 19 cm y 16 min en el **Boletín 13** de las 00:26 (CR) del 05 de marzo. En el **Reporte 5**, emitido a las 1:51 horas del 5 de marzo, SINAMOT mantuvo el nivel de amenaza en “Baja”.

Posterior al arribo del tsunami a la isla de Santa Cruz a las 10:00 (UTC), con una altura de 0.48 m y un periodo de 16 min y, basados en la diferencia de los tiempos de arribo pronosticado y real de las islas Galápagos, se emite el **Reporte 6** de SINAMOT. El cual se envió a las 04:17 del 05 de marzo, se actualizaron las horas de llegada para Costa Rica a las 04:45 a la isla del Coco y a las 05:15 al continente (Quepos). Se mantuvo la recomendación sobre corrientes fuertes y muy fuertes para la costa Pacífica, en especial para la zona oeste de la península de Osa, desde la desembocadura del Térraba hasta punta Chancha. El **Reporte 7** fue el último emitido por el SINAMOT, a las 06:53 horas, en el que se indica que la amenaza de tsunami ha pasado y que este se registró en los mareógrafos de la isla del Coco con una altura de 7 cm

y un periodo de 7 min, mientras que en Quepos con una altura de 11 cm y un periodo de 7 min hasta ese momento.

En el caso de este evento, consideramos que se debió discutir en forma conjunta con la CNE si era conveniente elevar el nivel de amenaza en horas tempranas de la noche. Si bien el análisis de amenaza indicaba que no se iba a tener ninguna afectación, se debió haber considerado esta opción, debido a la hora y no tanto, a la posibilidad de afectación.

Debido a la pandemia de COVID19, desde marzo de 2020 los integrantes de SINAMOT nos encontramos en teletrabajo. Por lo tanto, este evento se atendió de forma remota y no desde la Sala de Monitoreo y no tuvimos ningún contratiempo para ello. Sin embargo, consideramos que, para futuros eventos similares a este, es recomendable el desplazamiento hacia la Sala de Monitoreo para evitar posibles problemas de conectividad que pudieran presentarse.

El hecho de que el tiempo de viaje del tsunami a Costa Rica fuera de más de 15 horas permitió la utilización de modelos numéricos en el análisis de la amenaza. Los modelos de inundación deben estar siempre listos para realizar corridas durante un evento, si el tiempo lo permite. No obstante, esto puede no ser así en otros casos, en los que solo se contaría con los pronósticos de altura del PTWC, además de las herramientas utilizadas

por SINAMOT, por lo que no se debe depender de nuestros modelos.

DISCUSIÓN

El arribo del tsunami a Costa Rica fue registrado en los dos mareógrafos ubicados en la costa del Pacífico, cuya ubicación se muestra en la Figura 2. Al registro de los mareógrafos se le aplicó un filtro paso-alto con un período de corte de 2.5 horas para eliminar la marea. El primer arribo al mareógrafo de Quepos es claramente distinguible, tanto en el registro original como en el filtrado (Fig. 5). Sin embargo, en el caso del mareógrafo de la isla del Coco resultó más difícil definir la hora del primer arribo, debido a la poca altura del tsunami y a la existencia de ruido de fondo causado por oleaje (Fig. 4). Más adelante se describe cómo se determinó la hora de llegada del tsunami al mareógrafo de la Isla, a partir de los resultados del modelado numérico.

El tsunami arribó el 5 de marzo de 2021 a las 04:21 al mareógrafo de la isla del Coco y a las 04:59 al mareógrafo de Quepos (ambas horas locales), aproximadamente a la mitad de la marea creciente en los dos lugares (Figs. 4 y 5). La diferencia entre el primer arribo de los mareógrafos de la isla del Coco y el de Quepos fue de 38 minutos, lo que es congruente con la

distancia entre ambos puntos cercana a 500 km.

El registro del tsunami obtenido en el mareógrafo de la isla del Coco revela, al menos, tres grupos de ondas. El primer grupo es originado por el arribo del tsunami a la estación alrededor de las 4:21 a. m., alcanzó una altura máxima de 5.9 cm a las 5:11 a. m. y se extendió durante un lapso de 60 minutos. El segundo ciclo de ondas ocurrió entre las 10:00 y 11:00 a. m. (aproximadamente 5 horas después del primer arribo) con una altura máxima de 6.10 cm, mayor a la altura alcanzada por el primer ciclo de ondas (Fig. 4).

El tsunami llegó a la marina de Quepos a las 4:59 a. m., sin embargo, las alturas de más de 10 cm se registran a partir de las 6:00 a. m., y la altura máxima se registra durante marea alta (Fig. 5). Después se mantiene en resonancia con poca pérdida de energía durante un rango de casi 4 horas (hasta casi las 9:00 a. m.). En este primer ciclo de ondas, las alturas de las olas aumentaron de manera significativa hasta alcanzar un máximo de 17.6 cm a las 7:23 a. m. Un segundo ciclo de ondas se da a partir de las 9 a. m., el cual muestra que, la amplitud de onda disminuye levemente y las fluctuaciones se mantienen por más de 19 horas después del primer arribo. Estas fluctuaciones pueden ser atribuidas a un efecto de resonancia en la marina,

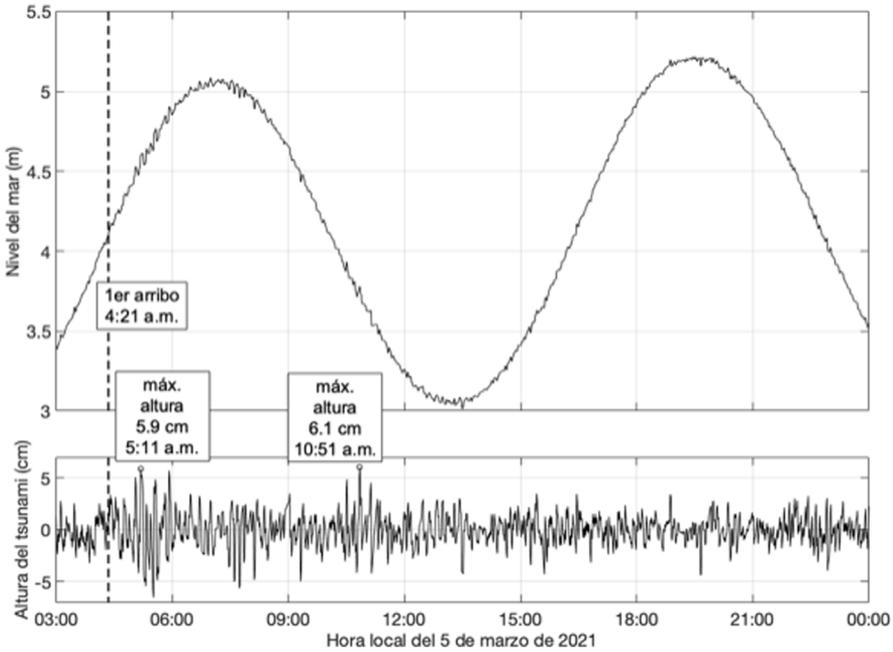


Fig. 4. Panel superior: mareograma original en la isla del Coco. Panel inferior: mareograma filtrado para mostrar únicamente el tsunami. El primer arribo fue a las 4:21 a. m. y la máxima altura sucedió a las 5:11 a. m. con un valor de 5.9 cm, mientras que el segundo ciclo de ondas obtuvo una altura máxima de 6.1 cm a las 10:51 a. m.

Fig. 4. Top panel: original tide chart in Isla del Coco. Bottom panel: filtered tide chart to show only the tsunami. The first arrival was at 4:21 a. m. and the maximum height occurred at 5:11 a. m. with a value of 5.9 cm, while the second cycle of waves reached a maximum height of 6.1 cm at 10:51 a. m.

aunque en virtud de la frecuencia de las ondas, podría deberse a una resonancia regional en el litoral pacífico; sin embargo, no contamos con suficiente

instrumentación para descartar alguna de ellas.

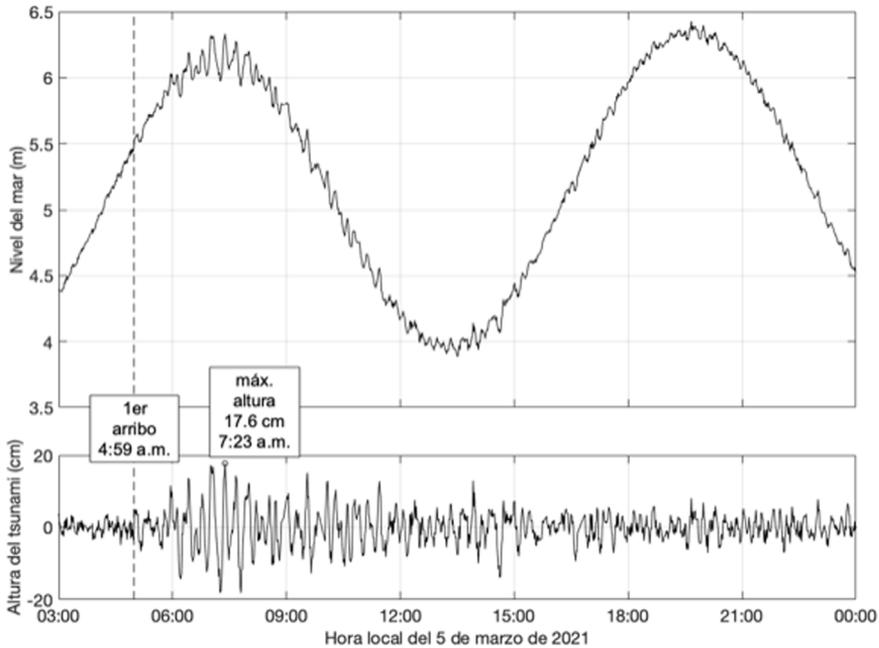


Fig. 5. Panel superior: mareograma original en Quepos. Panel inferior: mareograma filtrado para mostrar únicamente el tsunami. El primer arribo fue a las 4:59 a. m. y la máxima altura sucedió a las 7:23 a. m. con un valor de 17.6 cm

Fig. 5. Top panel: original tide chart in Quepos. Bottom panel: filtered tide chart to show only the tsunami. The first arrival was at 4:59 a. m. and the maximum height occurred at 7:23 a. m. with a value of 17.6 cm

Las Figuras 6 y 7 comparan los registros de los mareógrafos de isla del Coco y Quepos, con los resultados de los modelos. En la Figura 6 se muestran los resultados del modelo sin ninguna corrección y en la Figura 7 se le aplicó un retraso de 30 minutos a los resultados de la isla del Coco y 40 minutos a los de Quepos. Esta corrección se realizó para que coincidieran los picos de la onda de los resultados del

modelo con las observaciones reales. No es la primera vez que hay que realizar una corrección en los tiempos de llegada del tsunami simulado, ya que cuando se modeló el tsunami de Japón del 2011, usando la anterior batimetría de Quepos, se obtuvo una subestimación de 8 minutos respecto a la hora de llegada real (Chacón-Barrantes & Gutiérrez-Echeverría, 2017). No obstante, resulta muy curioso que para el

tsunami de Tonga del 2006 no haya sido necesario realizar ninguna corrección de tiempo al resultado del modelo (Chacón-Barrantes & Gutiérrez-Echeverría, 2017).

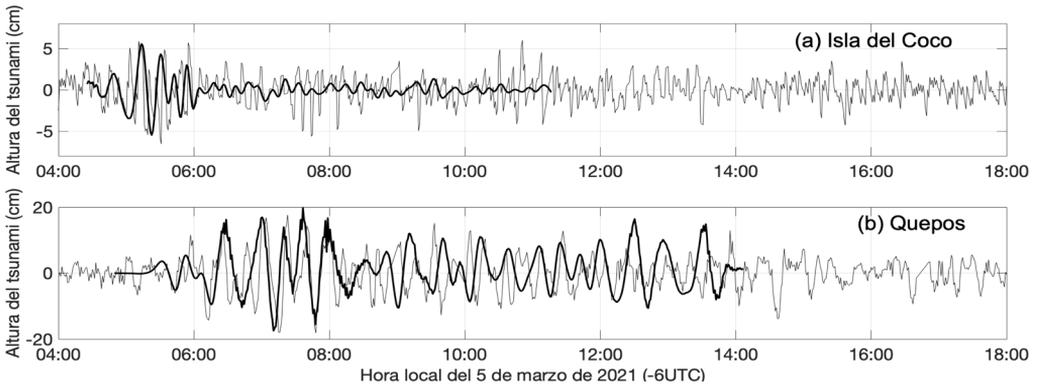


Fig. 6. Comparación de los registros del tsunami y los resultados del modelo para el mareógrafo de (a) isla del Coco y (b) Quepos, sin ninguna corrección de los tiempos de los resultados del modelo

Fig. 6. Comparison of tsunami records and model results for the tide gauge of (a) Isla del Coco and (b) Quepos, without any time correction of the model results

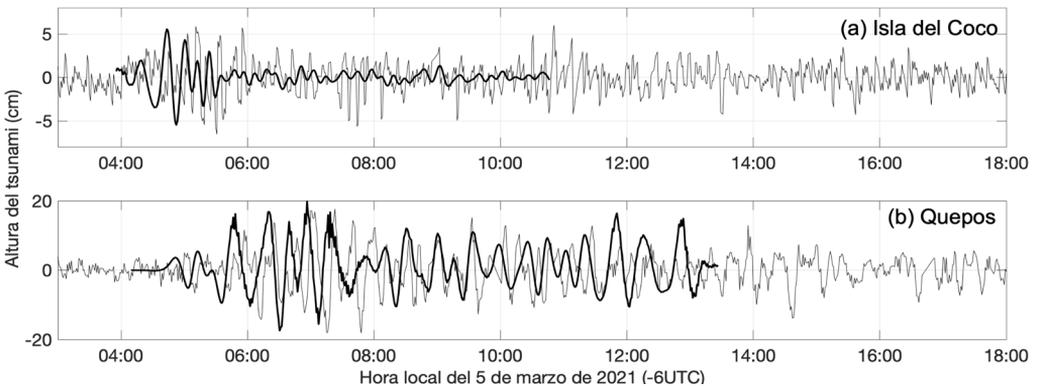


Fig. 7. Comparación de los registros del tsunami y los resultados del modelo para el mareógrafo de (a) isla del Coco y (b) Quepos aplicando la corrección de 30 minutos de retraso para la isla del Coco y 40 minutos de retraso para Quepos a los resultados del modelo

Fig. 7. Comparison of tsunami records and model results for the tide gauge of (a) Isla del Coco and (b) Quepos, applying a 30-minute correction delay for Isla del Coco and 40-minute correction delay for Quepos to the model results

Una vez realizada la corrección se puede observar que en el caso del mareograma de la isla del Coco hay una buena concordancia de las alturas y períodos del tsunami del primer tren de ondas, aunque el modelo subestima las alturas de los primeros arribos. Esto sugiere que la configuración del modelo es confiable en cuanto a reproducir las alturas y frecuencias del tsunami. Aunque, el modelo no logra reproducir el segundo y tercer tren de ondas, probablemente por la calidad de los datos batimétricos empleados o debido a reflexiones locales, ya que fuera de bahía Wafer corresponden a datos interpolados de cartas náuticas digitalizadas.

Los paramédicos del Cuerpo de Bomberos destacados en bahía Wafer, isla del Coco, filmaron el tsunami en la playa y en la desembocadura del río Genio (SINAMOT, 13, 3, 2021). Ellos relatan que vieron remolinos mar adentro y que no fue posible filmar. No es la primera vez que se reportan fuertes corrientes de tsunami y afectación en Wafer. En 1905 el administrador de la isla del Coco reportó un tsunami que arrancó varias palmeras y causó inundaciones menores (Weston, 1992), y los guardaparques de la Isla han reportado diversos grados de afectación por los tsunamis de 2006 islas Kuriles, 2009 Samoa Americana, 2010 Chile, 2011 Japón y 2015 Chile (Chacón-Barrantes *et al.* 2021). Para los dos últimos también existen grabaciones de video del tsunami al entrar por

el río Genio (SINAMOT, 23, 8, 2018). La altura tan pequeña medida en el mareógrafo y la falta de observaciones de tsunami en bahía Chatham, a pesar de la base de guardaparques presente ahí, parecen confirmar que lo que pasa en bahía Wafer se debe a un efecto local en la bahía y no es un efecto general en toda la isla. Sin embargo, el modelo no logró reproducir las alturas y corrientes grabadas por los testigos en el río Genio y bahía Wafer, lo que, probablemente, se deba a la resolución del modelo en dicha bahía, que fue de cerca de 30 m. Esa resolución no es suficiente para resolver la desembocadura del río, que tiene unos pocos metros de ancho. Como dato curioso, para este tsunami los testigos filmaron crías de tiburón cazando justo a la orilla del agua, y reportan que las crías se venían con las olas del tsunami hasta la orilla. Los autores no hemos podido encontrar reportes similares en la literatura científica.

Para el mareógrafo de Quepos, en general, el modelo reproduce bien los períodos y las alturas del tsunami. Las diferencias existentes entre las observaciones y los resultados del modelo se deben a la resolución de las mallas. La malla C tiene una resolución de 0.5 segundos, lo cual representa alrededor de 15 metros y, por lo tanto, no resuelve bien la Marina Pez Vela, en cuya entrada está ubicado el mareógrafo.

A pesar de las limitaciones, los resultados de los modelos para ambos mareógrafos permiten verificar la configuración de los mismos para modelar tsunamis provenientes de la trinchera Tonga-Kermadec. Como se dijo antes, la batimetría de las mallas de Quepos se actualizó en el 2019 con datos nuevos de batimetría levantados por SINAMOT, por lo que los resultados del modelado de este tsunami contribuyen a verificar esta nueva batimetría y se valida la simulación en su conjunto. En el caso de la isla del Coco, este es el primer tsunami que se registra en el mareógrafo, por lo que es una primera verificación del modelo para la Isla.

CONCLUSIONES

Los tsunamis son eventos poco frecuentes que no tienen estacionalidad. Por esto, es importante que los países que tienen costas, cuenten con organismos que actúen como Centros Nacionales de Alerta de Tsunami (NTWCs). Estos centros deben tener la capacidad de analizar la amenaza por tsunami muy rápidamente para que el país pueda tomar las medidas necesarias para mitigar su posible afectación. Eventos de bajo impacto, como el tsunami de las islas Kermadec del 4 de marzo de 2021 permiten a los países poner en práctica sus protocolos y procedimientos y, afinarlos de acuerdo con las lecciones aprendidas.

En el caso de Costa Rica, el análisis de amenaza indicó que no había peligro y se realizaron simulaciones numéricas para estimar las alturas de este tsunami para el país. Estas simulaciones y el monitoreo en tiempo real de los registros del tsunami en estaciones de nivel del mar de todo el océano Pacífico permitieron descartar la afectación para el país. Los registros del tsunami mostraron alturas máximas del primer arribo de 5.9 cm en bahía Chattam, isla del Coco y de 17.6 cm en Quepos. Este es el primer tsunami que se registra en el mareógrafo de la isla del Coco desde su instalación, a inicios de 2018.

Los modelos de inundación por tsunami de la isla del Coco y Quepos reprodujeron de manera adecuada los registros del tsunami, lo que permitió verificar las configuraciones de dichos modelos. Sin embargo, el tsunami fue observado por testigos en la desembocadura del río Genio y en bahía Wafer (isla del Coco), lo que no fue reproducido por el modelo numérico, probablemente debido a la resolución empleada. Estos testigos reportaron el arribo de crías del tiburón aleta blanca, con las olas del tsunami y su presencia en la orilla del mar, lo que no ha sido reportado con anterioridad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los tres revisores anónimos cuyos comentarios y sugerencias ayudaron a mejorar la calidad de este trabajo. Este artículo se enmarca en las actividades del Programa 0081-20 Sistema Nacional de Monitoreo de Tsunamis (SINAMOT) de la Universidad Nacional Costa Rica.

REFERENCIAS

- Ballance, P. F., Ablav, A. G., Pushchin, I. K., Pletnev, S. P., Biryulina, M. G., Itaya, T., ... & Gibson, G. W. (1999). Morphology and history of the Kermadec trench-arc-backarc basin-remnant arc system at 30 to 32° S: geophysical profile, microfossil and K-Ar data. *Mar Geolo*, 159(1-4), 35-62.
- Beavan, J., Wallace, L. M., Palmer, N., Denys, P., Ellis, S., Fournier, N., ... & Denham, M. (2016). New Zealand GPS velocity field: 1995-2013. *New Zealand J. Geol. Geophys*, 59(1), 5-14.
- Bernard, E. & Titov, V. V. (2015). Evolution of tsunami warning systems and products. *Philos. Trans.*, 373(2053), 1-14. <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0371>
- Burger, E. F., Kamb, L. & Gatley, K. (2014, December). *Tsunami event information dissemination through Tweb*. Presented in AGU Fall Meeting. EE. UU.
- Burger, E. F., Kamb, L., Pells, C. & Nakamura, T. (2013, December). *A Web-Based and Cloud Capable Tsunami Forecast Tool: Tweb*. Presented in AGU Fall Meeting. EE. UU.
- Chacón-Barrantes, S. (2018). The 2017 México Tsunami Record, Numerical Modeling and Threat Assessment in Costa Rica. *Pure Appl. Geophys*, 175(6), 1939-1950. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1852-7>
- Chacón-Barrantes, S. & Arozarena Llopis, I. (2021). A first estimation of Tsunami Hazard of the Pacific Coast of Costa Rica from Local and Distant Seismogenic Sources. *Ocean Dyn.*, 71(8), 793-810. <https://doi.org/10.1007/s10236-021-01467-8>
- Chacón-Barrantes, S. & Gutiérrez-Echeverría, A. (2017). Tsunamis recorded in tide gauges at Costa Rica Pacific coast and their numerical modeling. *Nat. Hazards*, 89(1), 295-311. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2965-5>
- Chacón-Barrantes, S. E., Murillo-Gutiérrez, A. & Rivera-Cerdas, F. (2021). *Catálogo de tsunamis históricos de Costa Rica hasta el 2020*. Costa Rica: EUNA.
- Goff, J., Pearce, S., Nichol, S. L., Chagué-Goff, C., Horrocks, M. & Strotz, L. (2010). Multi-proxy records of regionally-sourced tsunamis, New Zealand. *Geomorphology*, 118(3-4), 369-382.
- Intergovernmental Oceanographic Commission. IOC/UNESCO. (2016). *Tsunami Watch Operations. Global Service Definition Document. IOC Technical Series N.º 130*. France: UNESCO.
- Kamb, L., Moore, C. & Burger, E. F. (2014, December). *ComMIT and Tweb Integration: global tsunami modeling done locally*. Presented in AGU Fall Meeting. EE. UU.
- NOAA. (2021). NCEI Hazard Tsunami Related Runup Results. <https://www.ngdc.noaa.gov/hazel/view/hazards/tsunami/related-runups/5771>
- NOAA/NCEI. (2021). National Geophysical Data Center / World Data Service: NCEI/WDS Global Historical Tsunami Database. <https://doi.org/10.7289/V5PN93H7>

- Scherwath, M., Kopp, H., Flueh, E. R., Henrys, S. A. & Sutherland, R. (2008, December). *Structure and Deformation of the Hikurangi-Kermadec Subduction Zone - Transitions Revealed by Seismic Wide-angle Data*. Presented in AGU Fall Meeting. EE. UU.
- Shi, X., Tapponnier, P., Wang, T., Wei, S., Wang, Y., Wang, X. & Jiao, L. (2019). Triple junction kinematics accounts for the 2016 Mw 7.8 Kaikoura earthquake rupture complexity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A*, 116(52), 26367-26375.
- SINAMOT. (2021). Llegada del tsunami de Islas Kermadec a la Isla del Coco. {Video} <https://www.youtube.com/watch?v=cLqGJIE1glo&t=7s>
- SINAMOT. (2018). Llegada del tsunami de Japón del 11 de marzo del 2011 a la Isla del Coco, Costa Rica. {Video} <https://www.youtube.com/watch?v=5WQGQkvUZYA&t=58s>
- Titov, V. V. & González, F. I. (1997). *Implementation and testing of the method of splitting tsunami (MOST) model*. EE. UU. NOAA.
- Titov, V. V., Moore, C. W., Greenslade, D. J. M., Pattiaratchi, C., Badal, R., ... & Kânoğlu, U. T. K. U. (2011). A new tool for inundation modeling: Community Modeling Interface for Tsunamis (ComMIT). *Pure Appl. Geophys.*, 168(11), 2121-2131. <https://doi.org/10.1007/s00024-011-0292-4>
- Weinstein, S. A., Kong, L. S., Becker, N. C. & Wang, D. (2012, December). *TIDE TOOL: Open-Source Sea-Level Monitoring Software for Tsunami Warning Systems*. presented in AGU Fall Meeting. EE. UU.
- Weston, C. (1992). *La isla del Coco/Cocos Island*. Costa Rica: Trejos Hnos. Sucesores S. A.
- Zamora, N., Arroyo-Solórzano, M., Porras, H., Chacón-Barrantes, S., Rivera, F. & Murillo, A. (2021). Evaluación del potencial de tsunamis locales con base en análisis sismo-tectónico en el Caribe de Costa Rica. *Rev. Geol. Am. Cent.* (65), 1-23. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i65.47002>

Estructura vegetal y flora asociada del manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica

Forest structure and associated flora of the Mata de Limón mangrove forest Puntarenas, Costa Rica

Yixlen Guzmán-Sánchez^{1,2}, Gustavo Rojas-Ortega¹, Esteban Esquivel-Martín¹, Ana Lucía Arrieta-Sancho¹, José Andrés Vargas-Solano¹ y Luis Villalobos-Chacón^{1,2}*

RESUMEN

La estructura de los manglares se ve afectada negativamente por diferentes factores y sus variaciones llegan a causar estrés fisiológico. El objetivo de la investigación fue describir el estado de la estructura vegetal y la flora asociada al humedal de Mata de Limón. En el año 2014, se establecieron seis parcelas de monitoreo, en donde se determinó el número de árboles, la altura, el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la especie, para calcular el índice de complejidad y de valor de importancia. Se encontraron seis de las siete especies de flora nuclear identificadas en los manglares de Costa Rica. El índice de complejidad general fue de 4.97, *Avicennia germinans* tuvo el mayor valor de importancia, presente en cinco parcelas. Además, se reconocieron 26 organismos de vegetación asociada, distribuidos en 17 familias. La presencia de los diferentes mangles está determinada por la dinámica natural de diversos factores presentes en el ecosistema, sin embargo, debido al desarrollo de las actividades humanas su condición se puede ver alterada. Dadas las perturbaciones que ha enfrentado el humedal de Mata de Limón, como la construcción de la línea del tren, de la carretera y el puerto de Caldera; su conformación vegetal presenta una evidente heterogeneidad, de manera que las zonas más alejadas de la ocupación humana poseen mayor complejidad y presencia florística típica del ecosistema de manglar.

Palabras claves: *Avicennia germinans*, flora marginal, flora marginal facultativa, manglar periurbano, perturbación

- 1 Estación de Biología Marina Juan Bertoglia Richards, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica.
yixlen.guzman.sanchez@una.ac.cr*, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8449-0697>;
tavorojasortega@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8313-798X>;
esteesqui100@hotmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9360-9912>;
arrietasanchoanalucia@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2577-147X>;
joseandvarsol@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9788-1577>
- 2 Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica. lvillalster@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0990-165x>

ABSTRACT

Mangrove forests can be negatively affected by different factors, and variations in these factors can cause physiological stress. The objective of this investigation was to describe the state of the vegetation structure and associated flora of the Mata de Limon mangrove forest. In the year 2014, six plots were established and measurements were carried out in each plot to determine the number of trees, heights, diameters at breast height and species of mangrove to calculate indicators of complexity and importance. Six of the seven nuclear species of Costa Rican mangrove forests were found. The general complexity index was 4.97, and *Avicennia germinans* had the highest importance value, being present in five of the six plots. In addition, 26 species of associated vegetation were identified, distributed in 17 families. Presence of mangrove forests is determined by the natural dynamics of diverse factors in an ecosystem, but human activities can alter its structure and composition. The mangrove forest of Mata de Limón has been affected by factors such as the construction of train tracks, roads and the Caldera seaport; its vegetative structure is therefore heterogeneous, with the areas farthest from human interaction displaying greater complexity and a higher presence of floral species typically present in mangrove ecosystems.

Keywords: *Avicennia germinans*, marginal flora, facultative marginal flora, peri-urban mangrove forest, disturbance

INTRODUCCIÓN

Los manglares son ambientes localizados en la zona intermareal en donde presentan frecuentes inundaciones por las mareas y las altas variaciones en la salinidad (Alfaro-Sibaja *et al.* 2015; Quintero-Morales *et al.* 2021). Estos ecosistemas cumplen funciones de gran importancia como: ser área de crianza para varias especies marinas, filtración de sedimentos y nutrientes, proteger de la erosión y capturar gran cantidad de carbono (Samper-Villareal & Silva-Benavides, 2015; Passos *et al.* 2021); logrando almacenar de dos a cinco veces más que los bosques terrestres (Donato *et al.* 2011; Velázquez-Pérez *et al.* 2019; Vera-Ribera, 2020).

A pesar de esta relevancia, los manglares han enfrentado una serie de perturbaciones, tanto de origen natural como antrópico, que suelen ser más evidentes cuando existe una mayor urbanización a sus alrededores (Branoff, 2017). En el caso de la estructura, esta puede ser alterada por estrés fisiológico causado por cambios en distintos factores ambientales, como la textura del sedimento, el pH, la salinidad y la porción de materia orgánica presente en el sustrato (Velázquez-Pérez *et al.* 2019; Romero-Berney *et al.* 2019), aspectos que se modifican con la transformación del uso del suelo adyacente.

A su vez los cambios en estos factores pueden afectar la composición vegetal del ecosistema, favoreciendo la presencia de especies florísticas que

no son típicas de las áreas adyacentes a los manglares (vegetación marginal facultativa), y desplazando a la flora marginal que debido a sus adaptaciones como dispersión hidrocórica y lenticelas pueden crecer mezcladas con el mangle (vegetación nuclear) (Jiménez & Soto, 1985).

En el año 2020, para la medición de la integridad de estos humedales costeros en Costa Rica se oficializó el Protocolo para el Monitoreo Ecológico de Manglares (SINAC & UNA, 2020) que incorpora 21 indicadores para la evaluación de estos ecosistemas, algunos de los cuales determinan la estructura y la composición vegetal.

Debido a la falta de información científica publicada de línea base para manglares en Costa Rica, se consideró conveniente retomar las mediciones que realizamos en el año 2014, para generar el punto de referencia de algunos de los indicadores que componen el protocolo. Siendo el objetivo de esta investigación, describir el estado de la estructura vegetal e identificar la flora asociada del manglar de Mata de Limón con el propósito de establecer la línea base para futuras comparaciones en el tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: el manglar de Mata de Limón forma parte de la Zona Protectora Tivives (ZPT) localizada en

el Pacífico Central, Costa Rica; con una longitud aproximada de 1650 m en el área adyacente a playa Caldera, y se ubica hacia el noreste de la zona portuaria del mismo nombre (MINAE *et al.* 1999) (Fig. 1).

Esta zona presenta una estación seca que va de mediados de noviembre a abril, y otra lluviosa que ocurre durante los meses restantes; lo cual es una característica climática del régimen de precipitación en el Pacífico; además el suministro de agua dulce al estero de este manglar se da especialmente, por el riachuelo Cambalache y también, recibe pequeños aportes de quebradas intermitentes (SINAC, 2018).

Este humedal costero ha sufrido variaciones en el movimiento natural del sistema de corrientes, en la parte interna y externa; lo cual ha generado cambios en el modelo de distribución del sedimento y una disminución en la capacidad de acumular agua por el alto aporte de estas partículas. Dicha problemática se asocia a factores como la construcción del Complejo Portuario de Caldera, una menor entrada del agua por la construcción de un sector de la carretera costanera sur y el puente, y por la actividad humana desarrollada en las cuencas hidrográficas contiguas (Güell *et al.* 2000).

Caracterización de la estructura vegetal: entre los meses de marzo y mayo del año 2014, se establecieron cinco parcelas de muestreo de 10x25 m



Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio y las parcelas de muestreo en el manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica

Fig. 1. Location of the study area and sampling plots in the Mata de Limón mangrove forest, Puntarenas, Costa Rica

y una de 10x10 m (# 6) (Fig. 1). En cada una de ellas se determinó el número de árboles de manglar vivos o muertos, se identificó la especie y se cuantificó la altura mediante una estimación visual aproximada de la parte más alta de la copa, debido a que la densidad del dosel impedía el uso del clinómetro. Además, el DAP se midió únicamente a los individuos que presentaron un

diámetro mayor a 2.5 cm a un nivel de 1.3 m desde el suelo; en el caso de los del género *Rhizophora* la medición se realizó sobre la raíz más alta.

A partir de los datos anteriores, se procedió a calcular los siguientes atributos estructurales según lo establecido por Cintrón-Morelo & Schaeffer-Novelli (1984):

$\text{Área Basal (AB)} = 0.00007854 \times (\text{DAP})^2$
 $\text{Densidad Relativa} = \frac{\# \text{ individuos por especie}}{\# \text{ total de individuos}} \times 100$

$\text{Dominancia Relativa} = \frac{\text{dominancia por especie (AB)}}{\text{dominancia total (AB total)}} \times 100$

$\text{Frecuencia Relativa} = \frac{\text{frecuencia por especie}}{\text{frecuencia total}} \times 100$

$\text{Índice de Complejidad} = \frac{\text{altura} \times \text{área basal} \times \text{cantidad de especies}}{\text{densidad (0.1 Ha)} / 1000}$

Para la estimación del Índice de Complejidad General se promediaron los valores de altura, área basal y densidad, y se utilizó el mayor número de especies encontradas en toda la zona de estudio; y se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI) de acuerdo con la fórmula establecida por Villavicencio-Enríquez & Valdez-Hernández (2003):

$\text{IVI} = \text{densidad relativa} + \text{dominancia relativa} + \text{frecuencia relativa}$

Determinación de la vegetación marginal y marginal facultativa: se realizaron recorridos por los alrededores de las parcelas establecidas en el manglar con el propósito de reconocer esas especies presentes de vegetación, según la clasificación de Jiménez & Soto (1985); en el caso de las no categorizadas por esos autores

y que tienen una amplia distribución en el país, fueron clasificadas como no típicas (NT). Para las que no fue posible identificar en el campo se tomaron muestras para su posterior identificación en la Estación de Biología Marina Juan Bertoglia Richards, de la Universidad Nacional, sin dejar muestras para el herbario.

RESULTADOS

Caracterización de la estructura vegetal: se identificaron seis de las siete especies de vegetación nuclear identificadas en los manglares de Costa Rica (Fig. 2). En total, se contabilizaron 282 individuos, de ellos 189 tuvieron un DAP > 2.5 cm y < 10 cm; y 93 mayor a 10 cm. Además, se encontraron tres árboles muertos de *Laguncularia racemosa* y cuatro de *Avicennia germinans*, todos con un diámetro entre 2.5 y 10 cm.

La mayor complejidad estructural la presentó la parcela cuatro (9.1), seguida por la cinco (7.4); en ambas hubo presencia de cinco de las seis especies identificadas; además, presentaron los valores de altura y área basal más altos encontrados en el manglar; en comparación la seis presentó la menor complejidad (Cuadro 1).

En general, la especie con mayor índice de importancia fue *A. germinans*, presente en cinco de las seis parcelas establecidas en el manglar. Por su parte, *Rhizophora mangle* fue la

más importante para el sitio uno; *L. racemosa* tuvo una alta presencia en cuatro y seis, y para el área cinco la más relevante fue *Rhizophora racemosa* (Fig. 2).

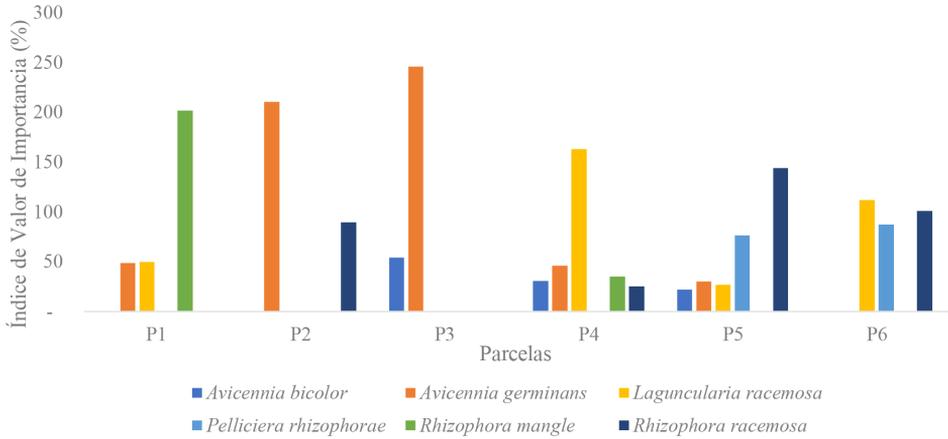


Fig. 2. Estimación del Índice de Valor de Importancia (IVI), para cada una de las parcelas establecidas en el manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica
Fig. 2. Estimation of the Importance Value Index (IVI) for each of the plots established in the Mata de Limón mangrove forest, Puntarenas, Costa Rica

Cuadro 1. Cálculo del índice de complejidad para cada parcela y para todo el manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica (D. E.: desviación estándar)
Table 1. Calculation of the complexity index for each plot and for the entire Mata de Limón mangrove forest, Puntarenas, Costa Rica (S.D.: standard deviation)

Parcelas	Altura promedio (m) D.E ±	Área basal total	Número de especies	Densidad (0.1 Ha)	Índice de complejidad
Parcela 1	7.42 ± 6.47	0.53	3	148	1.75
Parcela 2	7.16 ± 3.02	0.54	2	268	2.09
Parcela 3	6.02 ± 2.47	0.41	2	184	0.90
Parcela 4	7.74 ± 4.66	0.84	5	280	9.10
Parcela 5	8.02 ± 3.84	1.07	5	180	7.75
Parcela 6	5.19 ± 1.71	0.30	3	108	0.50
I. C. General	6.92 ± 1.10	0.61	6	195	4.97

Presencia de flora marginal y marginal facultativa: se identificaron 26 organismos de vegetación asociada, distribuidos en 17 familias; *Fabaceae* tuvo una mayor representación con seis especies, seguida de *Anacardiaceae*,

Bignoniaceae, *Cyperaceae* y *Malvaceae* con dos cada una. En cuanto al tipo de vegetación la marginal estuvo conformada por seis especímenes, la marginal facultativa por siete, y la flora no típica por trece (Cuadro 2).

Cuadro 2. Especies de flora marginal y marginal facultativa identificadas en el manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica (M: marginal, MF: marginal facultativa, NT: no típica)

Table 2. Marginal and facultative marginal flora species identified in the Mata de Limón mangrove forest, Puntarenas, Costa Rica (M: marginal, MF: marginal facultative, NT: not typical)

Familia	Nombre científico	Nombre común	Tipo
Aizoaceae	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Verdolaga de playa	M
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	Mango	NT
	<i>Spondias purpurea</i>	Jocotillo de cerca	NT
Apocynaceae	<i>Rhabdadenia biflora</i>	Enredadera	M
Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i>	Palo de pipa	MF
Asparagaceae	<i>Sansevieria trifasciata</i>	Lengua de suegra	NT
Asteraceae	<i>Chromolaena odorata</i>	Albahaquilla (maleza)	NT
Bignoniaceae	<i>Bignonia phellosperma</i>	Enredadera	M
	<i>Tabebuia rosea</i>	Roble de sabana	NT
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i>	Indio desnudo	NT
Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i>	Bejuco	MF
Cyperaceae	<i>Cyperus ligularis</i>	Navajala	MF
	<i>Fimbristylis spadicea</i>	Pelo de chino	M
	<i>Acacia collinsii</i>	Cornizuelo	MF
	<i>Dalbergia brownei</i>	Enredadera	M
Fabaceae	<i>Delonix regia</i>	Malinche	NT
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Árbol de Guanacaste	NT
	<i>Gliricidia sepium</i>	Madero negro	NT
	<i>Pithecellobium unguis-cati</i>	Espino carbón	MF
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guásimo	MF
	<i>Hibiscus pernambucensis</i>	Majagua, amapola de playa	M
Marantaceae	<i>Ischnosiphon aromum</i>	Guarumo	NT
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro amargo	NT
Polygonaceae	<i>Coccoloba uvifera</i>	Uva de playa, papaturro	MF
Sapindaceae	<i>Melicoccus bijugatus</i>	Mamón	NT
Urticaceae	<i>Cecropia peltata</i>	Guarumo	NT

DISCUSIÓN

Caracterización de la estructura vegetal: la presencia de la flora del manglar de Mata de Limón está determinada por la disponibilidad de agua dulce, la protección directa del oleaje, la composición del suelo, la amplitud de penetración de las mareas y el acarreo de arena (Güell *et al.* 2000).

En este humedal costero hubo una mayor presencia de *A. germinans*, esta se ha descrito como dominante en la parte interna de los manglares ubicados en el Pacífico de América Central, donde hay carencia de drenaje y escorrentía (Jiménez, 1990), lo que coincide con nuestros hallazgos, ya que esta especie fue más abundante en las parcelas dos y tres que se encuentran en la parte interna del bosque.

Asimismo, Dangremond *et al.* (2015), al estudiar *A. germinans* en condiciones de laboratorio, determinaron que presenta un mejor desarrollo de biomasa y altura en ambientes con niveles altos de luz y salinidad en comparación con *R. mangle* y *Pelliciera rhizophorae*, siendo esta última la más sensible a tales factores, lo que a su vez podría explicar la mayor abundancia en las parcelas cinco y seis, que al tener más variedad de especies y cercanía al estero podrían estar favoreciendo su presencia.

Mientras que *A. germinans* es más recurrente en los sectores más

urbanizados, donde debido a la morfología del humedal podría darse menor inundación de la marea y una mayor concentración de sal en el suelo. Adicionalmente, se ha reportado que esta especie suele tener una mayor presencia en manglares es perturbados (Blanco *et al.* 2012; Araújo *et al.* 2018).

Por otra parte, *L. racemosa* tuvo una alta presencia en las parcelas cuatro y seis, lo anterior podría deberse a que esta especie es muy resistente a cambios en el tiempo, ya que presenta un crecimiento rápido y se caracteriza por sus habilidades para repoblar (Monroy-Torres *et al.* 2014).

Además, los parches de *L. racemosa* se asocian a factores bióticos como la competencia interespecífica donde logra aprovechar las condiciones que son adversas para otras especies de mangle (Gómez, 2013); considerándose como oportunista al explotar las condiciones ambientales que favorecen su crecimiento (Molina, 2009); por lo que, suele colonizar las áreas donde se extrajo *R. mangle* (Blanco *et al.* 2012; Araújo *et al.* 2018).

Asimismo, se ha reportado que en manglares con altos disturbios antropogénicos favorecen la presencia de *L. racemosa*, y afectan negativamente, a *R. mangle* y *A. germinans* (Branoff & Martinuzzi, 2020). Además, esta especie tiene la facilidad de colonizar sitios cercanos a la ocupación urbana donde se dan descargas de aguas negras y

acumulación de basura (Carvalho *et al.* 2016); estos aspectos podrían estar favoreciendo su abundancia sobre todo en la parcela cuatro, ya que en los terrenos contiguos a esta área se desarrolla actividad ganadera e industrial (SINAC, 2018) (Fig. 1).

Los mayores valores del IC en los sitios cuatro y cinco, indican un desarrollo estructural superior, que se caracteriza por un elevado número de especies, área basal, densidad y altura de los árboles. Valores bajos de este índice encontrados en la parcela seis, se puede deber a una mayor presencia de individuos jóvenes; indicando que el manglar se encuentra en regeneración como producto de algún disturbio a pequeña escala (Sherman *et al.* 2000; Silva-Benavides, 2009; Corella-Justavino *et al.* 2012); comprobándose al encontrarse los individuos de menor tamaño y área basal.

De igual forma la permanencia de la estructura del manglar está influenciada por indicadores como el área basal y la densidad (Cuadro 1); debido a que conforme el rodal envejece los árboles obtienen una mayor área basal y su densidad disminuye (Samper-Villarreal & Silva-Benavides, 2015), siendo estos indicadores relevantes de la estabilidad y desarrollo del manglar (Tellez-García & Valdez-Hernández, 2012).

La densidad total fue de 228 ind/0.1 Ha; similar a la reportada por

Velázquez-Pérez *et al.* (2019), en la Reserva La Encrucijada, Chiapas, México (201 ind/0.1 Ha) y por Arrieta-Sancho (2020), en el manglar de Jicaral, Costa Rica (265.25 ind/0.1 Ha). En el Pacífico central en el humedal de Palo Seco, Quepos; Alfaro-Sibaja *et al.* (2015) obtuvieron una cantidad menor (120 ind/0.1 Ha).

En la zona sur del país Samper-Villarreal y Silva-Benavides (2015), reportan para los humedales de Rincón de Osa y playa Blanca densidades totales menores (117 y 77.8 ind/0.1 Ha); sin embargo, la zona de Escondido tuvo valores mayores (400.4 ind/0.1 Ha). Estas diferencias entre manglares se pueden deber a variaciones en los gradientes de salinidad, pH, amplitud de la marea, textura y estabilidad del suelo, condiciones climáticas y aporte de nutrientes propios en cada bosque (Samper-Villarreal & Silva-Benavides, 2015; Arrieta-Sancho, 2020), así como a las alteraciones antropogénicas presentes en cada sitio.

Las densidades más bajas del sitio de estudio se podrían atribuir a la fase sucesional del bosque que al encontrarse en etapas intermedias de desarrollo está constituido principalmente, por árboles juveniles, de distintos tamaños; además, el bajo desarrollo de los manglares, también, se puede asociar con variaciones microtopográficas que regulan la dinámica hidrológica y los patrones de inundación, que se ven

alteradas por las actividades antropogénicas que se desarrollan en la parte media y alta de la cuenca, tales como la deforestación y la agricultura (Velázquez-Pérez *et al.* 2019).

El humedal de Mata de Limón ha enfrentado una variedad de perturbaciones; con la construcción de la línea del tren a finales del siglo XIX, sus contornos fueron alterados, fragmentando la conectividad con el subsecuente bosque tropical seco. Por otra parte, la construcción de la carretera separó el manglar de la playa de Caldera y el desarrollo urbano y turístico ha ocasionado alteraciones en sus bordes (Granados-Zúñiga & Castaing-Riba, 1986; Güell *et al.* 2000); las cuales se han incrementado y se evidencian en el estado actual del humedal y la complejidad que presenta este estudio.

En este sentido, se ha determinado que los manglares expuestos a estrés de origen humano como vertederos ilegales de basura, mayor concentración de arena, entre otros; presentan mayor heterogeneidad estructural, de forma que se pueden encontrar en un mismo sitio tanto bosques degradados, como de desarrollo intermedio o alto, estos últimos suelen hallarse en las zonas más alejadas de la ocupación urbana (Carvalho *et al.* 2016). Lo que se evidencia en este humedal, donde las parcelas más distantes de las áreas urbanizadas presentan un mayor índice de complejidad.

Asimismo, el aumento de la densidad urbana en las áreas contiguas al manglar es el predictor más fuerte en el cambio de su cobertura, que comúnmente se convierte en áreas de cultivos agrícolas; estas transformaciones en el uso del suelo generan a la vez disminución en la riqueza de especies de moluscos, crustáceos y principalmente, gusanos (Branoff, 2017).

Flora marginal y marginal facultativa: las especies marginales del manglar de Mata de Limón se encontraron mezcladas con la vegetación nuclear, este tipo de distribución se da cuando existe baja intensidad de inundación o la salinidad es menor que la del agua de mar, además algunas de estos organismos presentan adaptaciones que les facilitan sobrevivir en este ambiente.

En el caso de la vegetación marginal facultativa estas especies se encuentran mayormente, fuera del manglar, pero cuando existe alteración de las áreas núcleo o condiciones continuas de poca salinidad se pueden hallar asociadas al humedal (Jiménez & Soto, 1985), tal como *Cynophalla flexuosa*, *Cyperus ligularis* y *Pithecellobium unguis-cati* identificadas en este sitio.

Dentro de las herbáceas de flora marginal más comunes en el Pacífico del país están *Fimbristylis spadicea* que crece en los bordes internos de todos los manglares presentes en este sector y *Sesuvium portulacastrum* que se desarrolla en sustratos costeros

arenosos o en la parte alta de las playas (Jiménez & Soto, 1985), ambas fueron registradas en este manglar.

Además, se identificó *Dalbergia brownii* que suele ser más abundante en el Pacífico central y sur; y las enredaderas *Rhabdadenia biflora* y *Bignonia phellosperma*, esta última, puede crecer como arbusto en llanos fangosos, sin otro tipo de vegetación o como trepadora sobre los árboles de mangle (Jiménez & Soto, 1985), forma en la que fue observada en el área de estudio.

Por otra parte, también, se identificaron especies vegetales que no son típicas de manglares como *Mangifera indica*, *Spondias purpurea*, *Sansevieria trifasciata* y *Melicoccus bijugatus*, que son de consumo humano u ornamentales; dada la cercanía de las comunidades a este humedal se podría explicar su presencia.

Lo anterior, concuerda con lo reportado por Branoff & Martinuzzi (2020), quienes encontraron que la diversidad de árboles se correlaciona positivamente, con la cantidad de habitantes en los manglares urbanizados de Puerto Rico, donde hubo presencia de especies que no corresponden a mangle, e incluso no autóctonas halladas sólo en las zonas más pobladas.

Asimismo, Cano-Ortiz *et al.* (2018), determinaron que la mayor diversidad de flora asociada a los manglares de América Central no es un indicador de su buen estado de salud, más

bien podría ser un signo de las amenazas presentes en el sitio, tales como deforestación, disminución de la salinidad, sedimentación, entre otras; que favorecen la presencia de estas especies.

En consecuencia, un mejor estado de protección del manglar se evidencia cuando el bosque está compuesto por especies vegetales típicas (marginales y nucleares), aunque sean pocas; debido a que son las que tienen las adaptaciones necesarias para sobrevivir en ambientes salinos (Cano-Ortiz *et al.* 2018).

Por lo tanto, se puede concluir que las diversas perturbaciones en los alrededores del manglar han afectado su composición y estructura; siendo necesaria una mayor intervención y compromiso de parte de las entidades competentes para generar más conciencia y sensibilidad, tanto en los pobladores aledaños como en los comerciantes y los turistas, con el propósito de conservar y proteger este humedal costero.

AGRADECIMIENTOS

A la Estación de Biología Marina Juan Bertoglia Richards de la Universidad Nacional por las facilidades concedidas para realizar el trabajo de campo y la identificación de las muestras de flora, en especial a Marvin Ramírez. A Jesús Alfaro, Ariel Azofeifa, Mónica Espinoza y Laura Sotela por el apoyo brindado en la toma de datos y

análisis de las muestras. Un agradecimiento especial a Alexandre Tisseaux. A los tres revisores anónimos por sus aportes para la mejora de este trabajo.

REFERENCIAS

- Alfaro-Sibaja, L., Barquero-Salgado, D., Fonseca, A., Montoya-Solano, R. A., Morales-Cerdas, V. & Ramírez-Arce, D. (2015). Estructura y composición vegetal del manglar Palo Seco, Quepos, Costa Rica. *Cuad. Inv. UNED*, 7(2), 325-332.
- Araújo, L., Silva, M. F., do Nascimento, D., Batista, M., Mayo, S. J. & Moreira, I. (2018). Structure of a disturbed mangrove in the Rio Parnaíba delta, Piauí, northeast Brazil. *Feddes Repert.*, 129(2), 75-91. <https://doi.org/10.1002/fedr.201700017>
- Arrieta-Sancho, A. L. (2020). *Caracterización del manglar de Jicaral, Puntarenas, como insumo básico para la elaboración de un plan de recuperación del ecosistema*. (Tesis de licenciatura no publicada). Universidad Nacional, Costa Rica.
- Blanco, J. F., Estrada, E. A., Ortiz, L. F. & Urrego, L. E. (2012). Ecosystem-wide impacts of deforestation in mangroves: the Urabá Gulf (Colombian Caribbean) case study. *Int. Sch. Res. Notices*, 2012, 1-14. <https://doi.org/10.5402/2012/958709>
- Branoff, B. L. (2017). Quantifying the influence of urban land use on mangrove biology and ecology: A meta-analysis. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 26(11), 1339-1356. <https://doi.org/10.1111/geb.12638>
- Branoff, B. L. & Martinuzzi, S. (2020). The structure and composition of Puerto Rico's urban mangroves. *Forests*, 11(10), 1119. <https://doi.org/10.3390/f11101119>
- Cano-Ortiz, A., Musarella, C. M., Piñar, J. C., Pinto, C. J., Del Río, S., Quinto, R. & Cano, E. (2018). Analysis of the conservation of Central American mangroves using the phytosociological method. In S. Sharma (Ed.), *Mangrove ecosystem ecology and function* (pp. 189-206). United Kingdom. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70152>
- Carvalho, G., Pereira, M. M., da Silva, V., Barcellos, M., Soares, S. & Facco, G. (2016). The structural heterogeneity of an urbanised mangrove forest area in southeastern Brazil: Influence of environmental factors and anthropogenic stressors. *Braz. J. Oceanogr.*, 64(2), 157-172. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592016111706402>
- Cintrón-Molero, G. & Schaeffer-Novelli, Y. (1984). Methods for studying mangrove structure. In S. C. Snedaker & J. G. Snedaker (Eds.), *The mangrove ecosystem: Research methods* (pp. 91-113). United Kingdom. UNESCO.
- Corella-Justavino, F., Valdez-Hernández, J. I., Cetina-Alcalá, V. M., González-Cossío, F. V., Trinidad-Santos, A. & Aguirre-Rivera, J. R. (2012). Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Rev. Mex. Cienc. Forestales*, 26(90), 73-102.
- Dangremond, E. M., Feller, I. C. & Sousa, W. P. (2015). Environmental tolerances of rare and common mangroves along light and salinity gradients. *Oecologia*, 179(4), 1187-1198. <https://doi.org/10.1007/s00442-015-3408-1>

- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M. & Kaninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293-297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Gómez, L. R. (2013). *Características estructurales de los bosques de manglar del Noroeste de México*. (Tesis de maestría no publicada). Universidad Autónoma Mexicana. México.
- Granados-Zúñiga, J. A. & Castaing-Riba, A. (1986). La inminente destrucción del manglar de Mata de Limón, Costa Rica. *Biocenosis*, 2 (3-4), 51-52.
- Güell, D., Pineda, E. & Salas, D. M. (2000). *Procesos hidrogeomorfológicos de transporte y sedimentación en el sistema lagunar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica*. (Tesis de licenciatura no publicada). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Jiménez, J. A. (1990). The structure and function of dry weather mangroves on the Pacific Coast of Central America, with emphasis on *Avicennia bicolor* forests. *Estuaries*, 13, 182-192. <https://doi.org/10.2307/1351588>
- Jiménez, J. A. & Soto, R. (1985). Patrones regionales en la estructura y composición florística de los manglares de la costa Pacífica de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 33(1), 25-37.
- MINAE, IMN, CZMC & CRRH. Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional, Coastal Zone Management Center & Comité Regional de Recursos Hidráulicos. (1999). *Estudios de cambio climático en Costa Rica. Componente recursos costeros. Evaluación de la vulnerabilidad de los recursos costeros al cambio climático*. Costa Rica. Sin editorial.
- Molina, E. (2009). *Dinámica de los manglares de Bahía Portete, Alta Guajira a escala de paisaje y su relación con variables climáticas asociadas al cambio climático global y regional*. (Tesis de maestría no publicada). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Monroy-Torres, M., Flores-Verdugo, F. & Flores-de-Santiago, F. (2014). Crecimiento de tres especies de mangle subtropical en respuesta a la variabilidad en el hidropereodo en un tanque experimental. *Ciencias Marinas*, 40(4), 263-275. <https://doi.org/10.7773/cm.v40i4.2455>
- Passos, T., Pennu, D., Sanders, C., De França, E., Oliveira, T., Santos, L. & Barcellos, R. (2021). Mangrove carbon and nutrient accumulation shifts driven by rapid development in a tropical estuarine system, northeast Brazil. *Mar. Poll. Bull.*, 166, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112219>
- Quintero-Morales, A., Plata-Rocha, W., Olmón-Andalon, V., Monjardín-Armenta, S. & Nemiga-Antonio, X. (2021). Dynamics of changes in land use and estimation of CO₂ in mangroves in the Marismas Nacionales area, Mexico. *Ciencias Marinas*, 47(2), 105-125. <https://doi.org/10.7773/cm.v47i2.3162>
- Romero-Berney, E. I., Tovilla-Hernández, C., Torrescano-Valle, N. & Schmoock, B. (2019). Heterogeneidad estructural del manglar como respuesta a factores ambientales y antrópicos en el Socususco, Chiapas, México. *Polibotánica*, (46), 39-58. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.4>
- Samper-Villarreal, J. & Silva-Benavides, A. M. (2015). Complejidad estructural de los manglares de Playa Blanca, Escondido y Rincón de Osa, Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 63(1), 199-208. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v63i1.23103>

- Sherman, R. E., Fahey, T. J. & Battles, J. J. (2000). Small-scale disturbance and regeneration dynamics in a neotropical mangrove forest. *J. Ecol.*, 88(1), 165-178. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00439.x>
- Silva-Benavides A. M. (2009). Mangroves. In I. S. Wehrtmann & J. Cortés (Eds), *Marine Biodiversity of Costa Rica, Central* (pp. 123-130). Germany. Springer, https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8278-8_7
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). (2018). *Plan general de manejo de la zona protectora Tivives 2018-2028*. Costa Rica. Sin editorial
- SINAC & UNA (Sistema Nacional de Áreas de Conservación y Universidad Nacional). (2020). *Protocolo PRONAMEC: Protocolo para el Monitoreo Ecológico de Manglares en Costa Rica*. Costa Rica. Sin editorial.
- Téllez-García, C. P. & Valdez-Hernández, J. I. (2012). Caracterización estructural del manglar en el estero Palo Verde, Laguna de Cuyutlán, Colima. *RCHSCFA*, 18(3), 295-408. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.05.034>
- Velázquez-Pérez, C., Tovilla-Hernández, C., Romero-Berny, E. I. & De Jesús-Navarrete, A. (2019). Estructura del manglar y su influencia en el almacén de carbono en la Reserva La Encrucijada, Chiapas, México. *Madera bosques*, 25(3), 1-14. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531885>
- Vera-Rivera, J. D. (2020). *Cuantificación del carbono almacenado en el manglar del acuerdo de uso sustentable y custodia en Puerto Libertad, provincia del Guayas, Ecuador*. (Tesis de ingeniería ambiental). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Villavicencio-Enríquez, L. & Valdez-Hernández, J. I. (2003). Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*, 37(4), 413-423.

Primer registro del pez marino *Taractichthys steindachneri* (Perciformes: Bramidae) en El Salvador

First record of the marine fish *Taractichthys steindachneri* (Perciformes, Bramidae) in El Salvador

Andrea Fortis-Benavides^{1*} y José Alberto González-Leiva²

RESUMEN

El pez *Taractichthys steindachneri* se distribuye en el océano Indo-Pacífico, y en el océano Pacífico oriental se restringe hasta el sur del golfo de California, México. Sin embargo, en noviembre del año 2020 se registró, por primera vez, la captura de forma incidental en la pesquería artesanal frente a la costa de El Salvador. Esto puede deberse al enfriamiento de aguas superficiales marinas, a causa del fenómeno de La Niña.

Palabras clave: captura incidental, distribución, Ictiofauna marina, Pacífico oriental tropical, pesca artesanal

ABSTRACT

The fish *Taractichthys steindachneri* is distributed throughout the Indo-Pacific Ocean, while in the Eastern Pacific Ocean it is restricted to the southern Gulf of California, in Mexico. However, in November of the year 2020, its presence was recorded for the first time in bycatch of artisanal fishery off the coast of El Salvador. This may be due to the cooling of marine surface waters caused by the La Niña phenomenon.

Keywords: Artisanal fishing, bycatch, distribution, Marine ichthyofauna, Tropical Eastern Pacific

1 Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador. andrea.fortisb@gmail.com* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2848-2681>

2 Instituto para el Crecimiento Sostenible de la Empresa, (ICSEM El Salvador), C. Los Planes de Renderos, Km 8.5, Calle Padre Vito Guarato, B-2, Panchimalco, San Salvador. alberto@icsem.es
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3209-6962>

INTRODUCCIÓN

Las especies de la familia Bramidae tienen distribución circumtropical y son de hábitos epi-mesopelágicos que en ocasiones se aproximan a la costa (Puentes *et al.* 2001; Sánchez-Cárdenas *et al.* 2016); algunas de ellas son importantes para las pesquerías de ciertas regiones donde se distribuyen, por ser consideradas de buena calidad y alcanzar longitudes superiores a 60 cm (Puentes *et al.* 2001), como es el caso de *Taractes rubescens*, *Brama japonica* y *Taractichthys steindachneri*.

Se ha documentado que *T. steindachneri* (Döderlein, 1883) es de hábito carnívoro, su dieta principal se compone de peces, calamares y camarones (Yoshida, 1973; Sánchez-Cárdenas *et al.* 2016). Se ha estimado que la edad de la primera madurez sexual es de dos años y podría llegar hasta los ocho años (Smith, 1986; Kindong *et al.* 2020). La variedad es capturada de forma incidental en la pesquería de atún con palangre en el océano Pacífico occidental y oriental, siendo poca la información biológica y pesquera con la que se cuenta (Sommer, 1995). Esta especie ha sido registrada en el océano Indo-Pacífico a profundidades de 10 a 700 m (Nakano *et al.* 1997; Khalaf & Zajonz, 2007; Byung-Jik *et al.* 2012; Zhu *et al.* 2012) y para el Pacífico oriental, se ha restringido su distribución desde California, al sur del golfo de California (México), rastreándose a

profundidades de 15 m (Robertson & Allen, 2015; Villavicencio-Garayzar & Chávez, 1986; Kim *et al.* 2012).

Debido a que en el Pacífico oriental su distribución bentopelágica oceánodromo se restringe hasta el suroeste del golfo de California, el presente trabajo confirma el primer registro de *T. steindachneri*, capturado de forma incidental por pescadores artesanales de Los Cóbano, en aguas jurisdiccionales de El Salvador, que a partir de 60 millas náuticas desde la costa, se registran profundidades de más de 200 m. (JICA & MAG-CENDEPESCA, 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

El ANP Complejo Los Cóbano se encuentra ubicada a 11 Km, al oriente del municipio de Acajutla, departamento de Sonsonate (MARN, 2016). Durante la jornada de pesca del 21 a 22 de noviembre del año 2020 se capturó de forma incidental un ejemplar de *T. steindachneri* a 80 millas (1.85 km) de distancia frente playa Los Cóbano, Sonsonate. El espécimen fue capturado a 6 m de profundidad desde la superficie de la columna de agua (Peraza, com. Pers., 2020).

Los pescadores artesanales que capturaron a este ejemplar lo realizaron en una lancha de fibra de vidrio de 27 pies de eslora. Utilizaron una línea de anzuelos artesanal superficial, conocida por los pescadores como “cimbra”, con un reinal de 6 m de longitud; equipada

con anzuelos tipo “garra de águila” #5/0 (43 mm de longitud total y abertura de 15 mm) y utilizaron “sardina” como carnada (Peraza, com. Pers., 2020; JICA & MAG-CENDEPESCA, 2002).

Los datos de talla y peso, y el registro fotográfico del ejemplar fueron proporcionados por los pescadores de la comunidad, pero no fue posible colectarlo para depositarlo en una colección de referencia debido a que fue comercializado en el mercado local. Por lo tanto, se realizó una revisión de la información bibliográfica existente sobre esta especie y una búsqueda en bases de datos como [FishNet 2 \(2013\)](#), ingresando el nombre de la especie en el buscador de Taxon; esta información se complementó con [GBIF \(2022\)](#) para obtener las coordenadas

de los sitios de captura. También, se identificó el espécimen por medio de fotografías, mediante el uso de las claves taxonómicas de [Smith \(1986\)](#), [Sommer \(1995\)](#) y [Carpenter & Niem \(2001\)](#) y, se realizaron algunos conteos mirísticos y mediciones morfométricas con el *software* [Image J \(2022\)](#).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ejemplar de *Taractichthys steindachneri* (Fig. 1) registró una longitud total de 35 cm y un peso total de 5.4 kg, mediciones que concuerdan con un individuo juvenil, ya que la talla de primera madurez sexual es de 67.5 cm y esta especie puede alcanzar tallas de hasta 92 cm y pesar hasta 17.0 kg ([Kindong et al. 2020](#)).



Fig. 1. Ejemplar de *Taractichthys steindachneri* fotografiado por Oscar Peraza en el ANP Los Cóbano, El Salvador, en noviembre de 2020

Fig. 1. Specimen of *Taractichthys steindachneri* photographed by Oscar Peraza in Los Cóbano, El Salvador, in November 2020

Distribución

La especie *Taractichthys steindachneri* es migratoria, se ha registrado para el océano Indo-Pacífico y para el Pacífico oriental está restringida desde la costa sur de California (Estados Unidos) al suroeste del golfo de California (Fig. 2) (Villavicencio-Garayzar & Chávez 1986; Byung-Jik *et al.* 2012; Kim *et al.* 2012; Robertson & Allen, 2015; Sánchez-Cárdenas *et al.* 2016). Por lo tanto, haberla encontrado a 80 millas mar adentro de las costas de El Salvador (Fig. 2), es un nuevo registro para el país; su ocurrencia en el país puede deberse a fenómenos climáticos como La Niña, la cual tuvo mayor influencia en el mes de noviembre. Según MARN (2020) se registró una precipitación en el país de 193 mm; siendo 138 mm más con respecto al promedio y se vio la influencia del tránsito de ondas tropicales como los ciclones ETA e IOTA (IRI, 2020).

A la vez, este fenómeno tuvo mucha influencia en la temperatura superficial del mar entre septiembre y noviembre del 2020. El mes de noviembre se caracterizó por temperaturas más cálidas que el promedio, en gran parte del mundo. Un claro ejemplo es en el océano del Pacífico norte (desde América del norte hasta Asia) aumentando la temperatura hasta 3°C. Mientras que, en el océano Pacífico ecuatorial y centroamericano se observaron temperaturas más frías que

el promedio (NOAA, 2020), pudiendo darse migraciones desde el golfo de California, con la ayuda de corrientes marinas, como la corriente de California y la contracorriente ecuatorial; aunado por influencias de las masas de agua que condicionan la temperatura en el golfo de Tehuantepec, que puede facilitar la migración de esta especie (NOAA, 2020). Todas estas condiciones pudieron influir en el registro de individuos de *T. steindachneri* en Centroamérica.

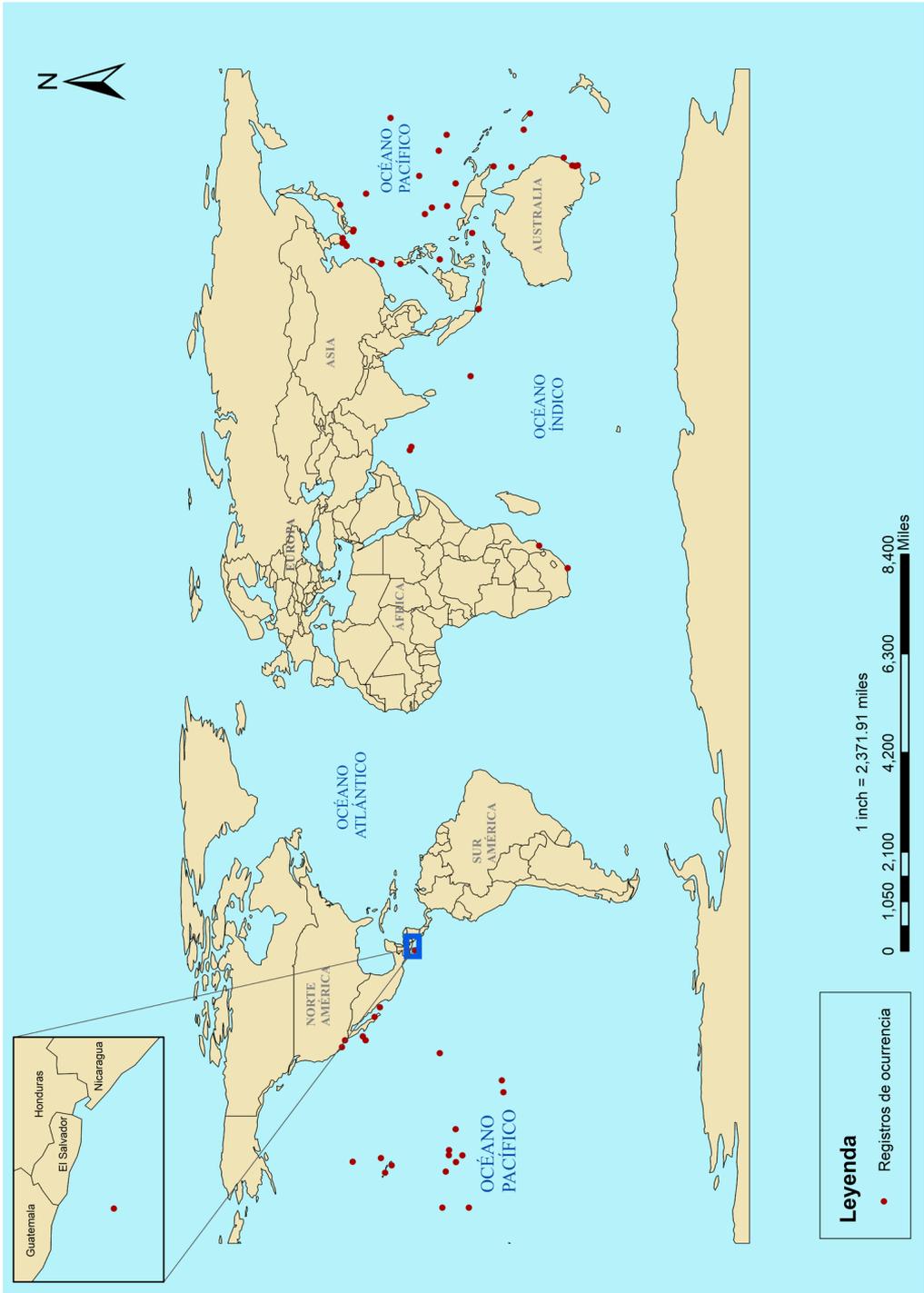
Morfología

El ejemplar capturado presentó un cuerpo alto y comprimido de coloración negruzca, con ojos y boca grande. La aleta pectoral se observó larga y puntiaguda, la aleta caudal es semilunar con márgenes blanquecinos. También se identificó, en la imagen, la presencia de escamas grandes, de la cual 34 se contabilizaron en la línea lateral (Cuadro 1). La aleta dorsal y anal se observó con largos lóbulos puntiagudos y curvados en el frente, en la aleta anal se logró contabilizar

Fig. 2. Mapa de registro de ocurrencias de *Taractichthys steindachneri*. Datos de ocurrencia obtenidos de FishNet 2 (2013) y GBIF (2022)

Fig. 2. *Taractichthys steindachneri* occurrence record map. Occurrence data obtained from FishNet 2 (2013), GBIF (2022)





Cuadro 1. Conteo merístico y morfometría de *Taractichthys steindachneri*
 Table 1. Meristic count and morphometry of *Taractichthys steindachneri*

Estructura/medida	Morfométrico (cm)	Merístico
Longitud total	35	-
Longitud cefálica	9.36	-
Diámetro del ojo	1.44	-
Longitud mandíbula superior	3.44	-
Longitud aleta pectoral	12.95	-
Altura	13.04	-
Escamas línea lateral	-	34
Radios aleta dorsal	-	33
Radios aleta anal	-	26

26 radios y en la aleta dorsal 33 radios, de igual forma se obtuvieron datos morfométricos de la especie (Cuadro 1). Las descripciones antes explicadas concuerdan con la especie *T. steindachneri* (Smith, 1986; Sommer, 1995; Carpenter & Niem, 2001; Kim *et al.* 2012; Robertson & Allen, 2015).

Hábitat

La especie *Taractichthys steindachneri*, aunque se captura con más frecuencia a mayor profundidad (hasta los 700 m), (Nakano *et al.* 1997; Khalaf & Zajonz, 2007; Zhu *et al.* 2012), existen algunos registros de esta especie a profundidades menores (10-15 m) (Villavicencio-Garayzar & Chávez 1986; Byung-Jik *et al.* 2012), ya que

está adaptada para alimentarse y sobrevivir en ambientes mesopelágicos y migra de forma vertical hacia ambientes epipelágicos (Sánchez-Cárdenas *et al.* 2016).

A la vez, parece preferir temperaturas de 7°C a 26.3°C, con una media de 13.8°C (Hawn & Seki, 2005). Mientras que, la temperatura superficial del mar de El Salvador es más cálida; entre los 27.9-30.0°C (Clima Pesca, 2021), por lo que, la captura de *T. steindachneri* muy cerca de la superficie pudo deberse al enfriamiento de las aguas superficiales del Pacífico oriental ecuatorial y centroamericano, a causa del fenómeno de La Niña, en el mes de noviembre.

AGRADECIMIENTOS

A los pescadores de Los Cóbano por proporcionar los datos y fotografía del espécimen, en especial al pescador don Oscar Peraza por estar dispuesto, siempre, a responder nuestras interrogantes. A los revisores anónimos por las observaciones realizadas para mejorar este manuscrito.

REFERENCIAS

- Byung-Jik, K., Jin-Koo, K., Jung-Hwa, R. & Ji-Tae, P. (2012). First reliable record of the Sickie pomfret, *Taractichthys steindachneri* (Bramidae: Perciformes) from Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 24(3), 230-233.
- Carpenter, K. E. & Niem, V. H. (2001). *The living marine resources of the western central Pacific. Bony fishes part 3 (Menidae to Pomacentridae)*. Italy. FAO.
- Fishnet 2. (2013). Descarga de datos de ocurrencia. <http://www.fishnet2.net/search.aspx?t=Taractichthys+steindachneri>
- GBIF. Global Biodiversity Information Facility. (2022). Descarga de ocurrencia de GBIF <https://doi.org/10.15468/dl.3y485a>
- Hawn, D. & Seki, M. (2005). End of the Line: Using Instrumented Longline to Study Vertical Habitat of Pelagic Fishes. *PFRP Newsletter*. 10(3), 1-2.
- Image J. (2022). Image Processing and Analysis in Java®. Version 1.53p. <https://imagej.nih.gov/ij/>. EE. UU.: Sun Microsystems, Inc.
- IRI. International Research Institute for Climate and society. (2020). IRI ENSO Forecast. https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/2020-November-quick-look/?enso_tab=enso-iri_update
- JICA & MAG-CENDEPESCA. Agencia de Cooperación Internacional del Japón. Ministerio de Agricultura y Ganadería-Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura. (2002). *El estudio sobre el desarrollo de la pesca artesanal en El Salvador: Informe principal*. El Salvador. Sin editorial.
- Khalaf, M. & Zajonz, U. (2007). Fourteen additional species recorded from below 150 m depth in the Gulf of Aqaba, including *Liopropoma lunulatum* (Pisces: Serranidae), new record for the Red Sea. *Fauna of Arabia*, 23, 421-433.
- Kim, B. J., Kim, J. K., Ryu, J. H. & Park, J. T. (2012). First reliable record of the sickie pomfret, *Taractichthys steindachneri* (Bramidae: Perciformes) from Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 24(3), 230-233.
- Kindong, R., Wu, F., Tian, S., Zhu, J., Dai, X., Wang, J. & Dai, L. (2020). Biological parameters estimate for the sickie pomfret (*Taractichthys steindachneri*) in the west-central and eastern Pacific Ocean. *Indian J. Geo. Mar. Sci.*, 49(03), 373-381.
- MARN. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Plan de manejo del Área Natural Protegida: Complejo Los Cóbano: Santa Agueda ó El Zope, bosque salado y porción marina*. El Salvador. Sin editorial.
- MARN. Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Boletín Fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) - noviembre 2020*. El Salvador. Sin editorial.
- Nakano, H., Okazaki, M. & Okamoto, H. (1997). Analysis of catch depth by species for tuna longline fishery based on catch by branch lines. *Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish.*, 34, 43-62.

- NOAA. National Centers for Environmental Information, State of the Climate. (2020). Global Climate Report for November 2020. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202011>
- OSPESCA-SICA. Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano- Secretaría General del Sistema de la Integración Centroamericana. (2021). CLIMA PESCA. En OSPESCA-SICA (Eds.), *Temperatura superficial del agua (TSM), clorofila, vientos, Blanqueamiento de corales* (pp. 4-10). EE. UU.: SICA.
- Puentes, V., Rubio, E. A. & Zapata, L. A. (2001). Primer registro del género *Taractes* (Pisces: Bramidae) en el océano Pacífico colombiano. *Biol. Invest. Mar. Cost.* 30, 207-212. <https://doi.org/10.25268/bimc.invenmar.2001.30.0.306>
- Robertson, D. R. & Allen, G. R. (2015). Shorefishes of the Tropical Eastern Pacific: online information system. <https://biogeodb.stri.si.edu/sfstep/es/pages>
- Sánchez-Cárdenas, R., Plomozo-Lugo, T., de los Ángeles Maldonado-Amparo, M., Valdez-Pineda, M. C., Salcido-Guevara, L. A. & Ramírez-Pérez, J. S. (2016). Nuevos registros de *Taractichthys steindachneri* (Perciformes, Bramidae) en el sur del golfo de California. *Ciencia Pesquera*, 24(2), 59-64.
- Smith, M. M. (1986). Family N.º 207: Bramidae. In M. M. Smith & P. C. Heemstra (Eds.), *Smith's Sea Fishes* (pp. 633-636). EE. UU.: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-82858-4>
- Sommer, C. (1995). Bramidae. In W. Fischer, F. Krupp, C. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter & V. H. Niem (Eds.). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental*. Vol. II. (pp. 937-939). Italia. FAO.
- Villavicencio-Garayzar, C. J. & Chávez, H. (1986). Primer registro en aguas mexicanas de *Taractichthys steindachneri* (Döderlein) (Pisces: Bramidae). *Inv. Mar. Cicimar*. 3(1) 127-138.
- Yoshida, H. O. (1973). *Taractes rubescens* and *Taractichthys steindachneri* from Hawaiian waters. *Fish. Bull.*, 71(3), 900-902.
- Zhu, J., Xu, L., Dai, X., Chen, X. & Chen, Y. (2012). Comparative analysis of depth distribution for seventeen large pelagic fish species captured in a longline fishery in the central-eastern Pacific Ocean. *Sci. Mar.*, 76(1), 149-157. <https://doi.org/10.3989/scimar.03379.16C>

Occurrence of the rough eagle ray *Aetomylaeus asperrimus* (Chondrichthyes: Myliobatidae) along the north Pacific coast of Costa Rica

Presencia de la raya águila de piel áspera *Aetomylaeus asperrimus* (Chondrichthyes: Myliobatidae) en la costa del Pacífico Norte de Costa Rica

Elpis J. Chávez^{1*}, Maïke Heidemeyer^{2,3}, Randall Arauz⁴, Daniel Arauz-Naranjo¹, Randall Mora-Vargas³, José Luis Molina-Quirós⁵ & Sebastián Hernández-Muñoz^{3,6}

ABSTRACT

Almost 25% of skates and rays' information worldwide is insufficient to assess their extinction risk. We reported the first seven confirmed records of the rough eagle ray (*Aetomylaeus asperrimus*) along the north Pacific coast of Costa Rica. These findings suggest that encounters with this species are rare, possibly associated with oceanographic patterns. More information is needed to make accurate assumptions on the species' abundance, ecology, and conservation needs.

Keywords: Conservation, data deficient, elasmobranchs, range extension, Eastern Tropical Pacific

RESUMEN

A nivel mundial, casi el 25% de los batoideos carece de información suficiente para evaluar su riesgo de extinción. Se reportan los primeros siete registros confirmados de la raya águila de piel áspera (*Aetomylaeus asperrimus*), en la costa del Pacífico Norte de Costa Rica. Se sugiere que la presencia de *A. asperrimus* es rara, posiblemente asociada con patrones oceanográficos.

- 1 Centro Rescate de Especies Marinas Amenazadas (CREMA), Barva, Costa Rica. echavk@gmail.com*; darauz@cremacr.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1549-5563>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9496-8298>
- 2 Centro de Investigación en Ciencias Marinas y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica. maïke.heidemeyer@ucr.ac.cr; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7547-5631>
- 3 Asociación para la Conservación Integral de Recursos Naturales Equipo Tora Carey (ETC), El Jobo, Guanacaste, Costa Rica. randallmoravargas76@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0209-5755>
- 4 Fins Attached Marine Research and Conservation, Colorado Springs, EE. UU. rarauz@finsattached.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4907-0424>
- 5 Biomolecular Laboratory (BIOMOL), Centro de Programas Internacionales y Estudios de Sostenibilidad (CPIES) de la Universidad Veritas, Zapote, Costa Rica. jmolina@veritas.cr; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7163-6004>
- 6 Sala de Colecciones Biológicas, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile. shernandez@veritas.cr; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2908-6050>

Se necesita más información para poder evaluar la abundancia, la ecología y las necesidades de conservación de la especie.

Palabras clave: Conservación, especie con datos deficientes, elasmobranquios, extensión de rango, Pacífico Oriental Tropical

INTRODUCTION

The genus *Aetomylaeus* Garman 1908 is one of the two extant genera (together with *Aetobatus*) of the eagle ray family Myliobatidae (Last *et al.* 2016). Once considered a third genus for the family, *Pteromylaeus* is currently considered a junior synonym of *Aetomylaeus* (Aschliman, 2014; White, 2014; Last *et al.* 2016). This genus includes seven extant species, six broadly distributed along the Western Indian Ocean and Indo-West Pacific, and one species (*Aetomylaeus asperrimus* Gilbert, 1898) reported for the Eastern Pacific (Last *et al.* 2016; White *et al.* 2016).

The rough eagle ray (*A. asperrimus*) primarily inhabits demersal soft bottoms in tropical coastal waters, where it presumably feeds on hard-shelled and bottom-dwelling invertebrates (Last *et al.* 2016). Its distributional range is still unclear and currently derives entirely from country or region-wide taxonomic checklists and identification guides. The species is listed as Data Deficient (DD) under IUCN Red List criteria, because current information is inadequate to assess extinction risk based

on distribution and population status (Valenti & Kyne, 2016).

The presence of the species had been reported in taxonomic checklists from Mexico (Castro-Aguirre & Espinosa-Pérez, 1996; Eheman *et al.* 2018), Panama (McEachran & Notarbartol di Sciara, 1995), and Galapagos (Grove & Lavenberg, 1997). Consequently, it was expected to occur from Mexican waters to northern Peru (Castro-Aguirre & Espinosa-Pérez, 1996; Bussing & López, 2009; Espinoza *et al.* 2018; Robertson & Allen, 2015; Weigmann, 2016; Eheman *et al.* 2018). However, Panama is the only country where a specimen had been actually described (*type specimen*: female, 79 cm disc width). Our observations represent the first records for this species in Costa Rica.

MATERIALS AND METHODS

Sightings of *A. asperrimus* were video recorded during apnea dive surveys in the Gulf of Santa Elena, specifically at “La Cornuda” (11° 33' N, 85° 41' W) in April 2015 and December 2017, and in the Gulf of Papagayo, specifically at “Punta Naranja” (10° 33' N, 85° 41' W) in September

2019, both sites located in the northern Nicoya Peninsula (Fig. 1). Additional specimens were opportunistically caught during bull shark (*Carcharhinus leucas*) fisheries independent surveys in front of the mouth of the Bongo River ($9^{\circ} 44' N$, $85^{\circ} 14' W$), in the Marine Protected Area of the Caletas-Arío National Wildlife Refuge (NWR) (Fig. 1), Southern Nicoya Peninsula, between March 2017 and August 2019. The fishing gear was rigged to catch bull sharks and consisted of a 250-300

m mainline built with 4 mm braided nylon rope, set at the bottom at ~ 8 -12 m depth. Every 6 to 8 m a gangion with a hook was clipped to the mother line. Gangions consisted of 1 m of monofilament line (2 mm) and a 45 cm extension of stainless-steel wire leader, to which circle hooks (no.14 and 15, 10° offset) were attached. Hooks were baited with frozen sardine (Clupeidae) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis* Linnaeus, 1758). Rough eagle ray specimens caught were measured

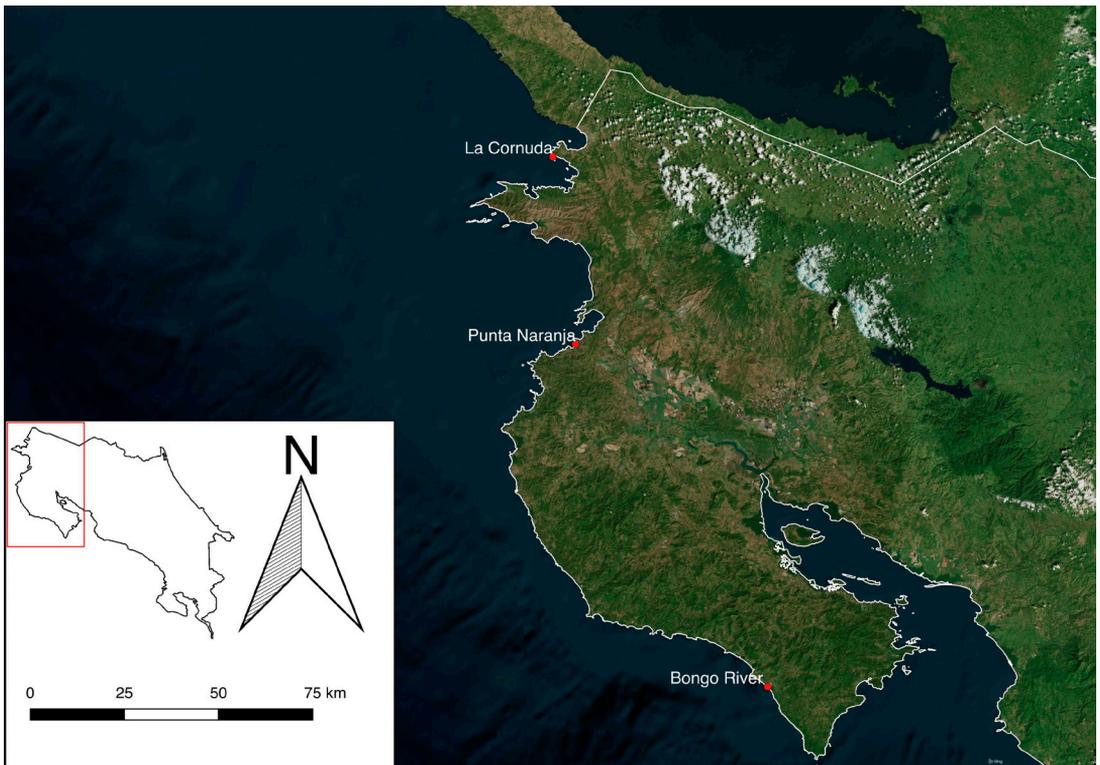


Fig. 1. *Aetomylaeus asperrimus* sighting locations in the north Pacific coast of Costa Rica

Fig. 1. Lugares de avistamientos de *Aetomylaeus asperrimus* en la costa del Pacífico Norte de Costa Rica

(Disc Width, or DW), sexed, and photographed. Species identification was based on morphological characteristics described in the literature (e.g., Last *et al.* 2016).

RESULTS

Seven rough eagle rays were reported along the North Pacific coast of Costa Rica, from April 2015 to August 2019 (Table 1). Three individuals were observed during apnea diving activities in coastal waters of the Gulfs of Santa Elena and Papagayo in April 2015, December 2017, and July 2019. The individuals were observed actively

swimming about 5 - 8 m above a sandy and coarse sandy-gravel bottom (Fig. 2). Four additional individuals, two females and two males, were caught and released at the mouth of the Bongo River (Fig. 3). The specimens caught measured between 69-150 cm of DW (Table 1). The morphological identification of the specimens was evident by inspecting the disk from a dorsal view, with its distinctive brownish to greyish coloration, including the distinctive 7-9 white band pattern on the front end of the disk, and numerous white spots, mostly in the back end of the disk (Fig. 2 and 3).

Table 1. *Aetomylaeus asperrimus* specimens reported along the North Pacific coast of Costa Rica

Cuadro 1. Individuos de *Aetomylaeus asperrimus* reportados a lo largo del Pacífico Norte de Costa Rica

Date	Region	Specific Location	Sex	DW (cm)	Habitat type	Method	Type of evidence
April 1, 2015	Gulf of Santa Elena	La Cornuda	ND	150*	Rocky reef with sandy-gravel bottom	Apnea diving	Video footage
March 23, 2017	Caletas-Arío NWR	Bongo River mouth	F	ND	Sandy-mud bottom	Research fishing	Direct observation
December 14, 2017	Gulf of Santa Elena	La Cornuda	ND	100*	Rocky reef with sandy-gravel bottom	Apnea diving	Direct observation
August 1, 2019	Gulf of Papagayo	Punta Naranja	ND	ND	Sandy bottom	Apnea diving	Video footage
July 4, 2019	Caletas-Arío NWR	Bongo River mouth	M	69	Sandy-mud bottom	Research fishing	Photo
July 5, 2019	Caletas-Arío NWR	Bongo River mouth	M	72	Sandy-mud bottom	Research fishing	Photo
August 10, 2019	Caletas-Arío NWR	Bongo River mouth	F	90	Sandy-mud	Research fishing	Photo

*Estimated size from video; DW= Disc Width; F=Female; M= Male; ND= Not determined.

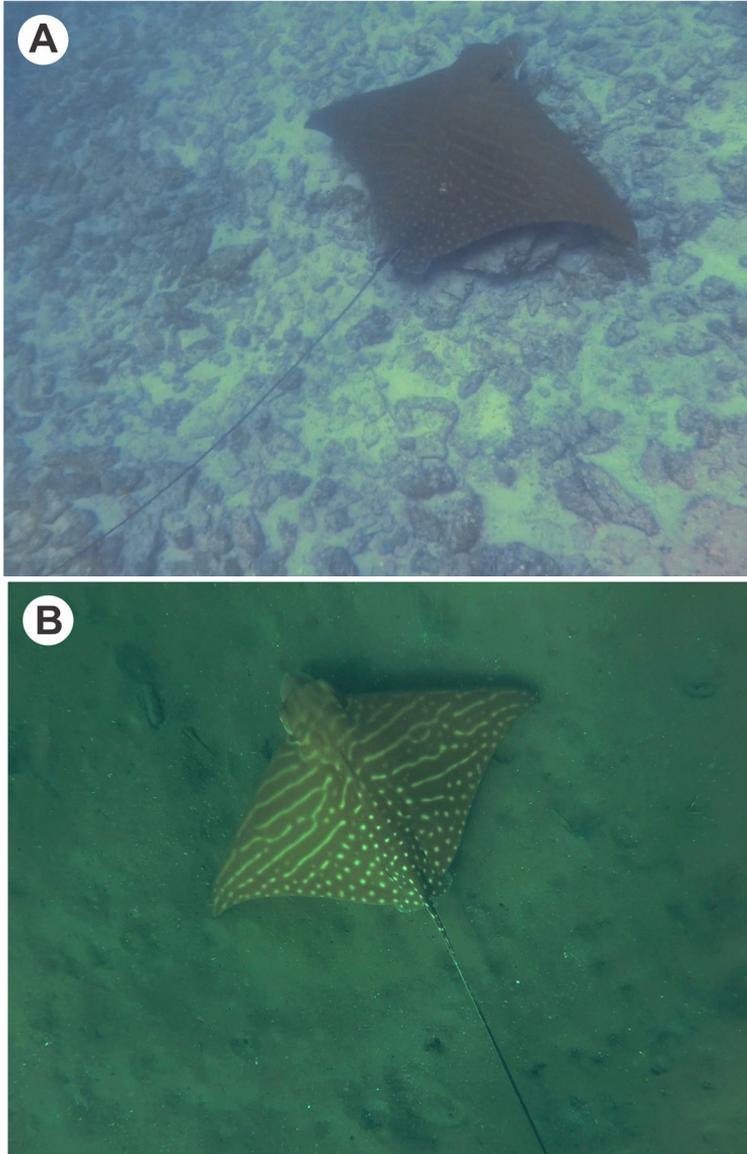


Fig. 2. Dorsal view photographs of two *Aetomylaeus asperrimus* specimens, recorded at (a) La Cornuda, a rocky reef in the Gulf of Santa Elena, April 2015; and (b) Punta Naranja, a sandy beach in the Gulf of Papagayo, July 2019

Fig. 2. Vista dorsal de dos especímenes de *Aetomylaeus asperrimus* registrados en (a) “La Cornuda”, un arrecife rocoso en el Golfo de Santa Elena, abril de 2015; y (b) “Punta Naranja”, una playa de arena en el golfo de Papagayo, julio de 2019



Fig. 3. Dorsal view photographs of the three *Aetomylaeus asperrimus* specimens caught in front of the mouth of the Bongo River during bull shark *Carcharhinus leucas* research surveys (a) female 90 cm disc width (DW), August 2019; (b) male 69 cm DW, July 2019; (c) male 72 cm DW, July 2019

Fig. 3. Vista dorsal de tres especímenes de *Aetomylaeus asperrimus* capturados frente a la desembocadura del río Bongo durante los estudios de investigación del tiburón toro *Carcharhinus leucas*. (a) hembra de 90 cm de ancho de disco (DW), agosto de 2019; b) macho de 69 cm DW, julio de 2019; (c) macho de 72 cm DW, julio de 2019

DISCUSSION

Assumptions regarding the distribution and habitat use of species listed by the IUCN as DD, such as the rough eagle ray, are often based on information regarding congeneric species (Sievers *et al.* 2019). Deficient information on this species' biology, distribution range, and population trends, as well as on the impact of its incidental catch and induced mortality in commercial fisheries, could limit the adequate management and implementation of conservation measures for the species. In Costa Rica, almost half (41%) of the 99 chondrichthyan species reported are cataloged as DD (Espinoza *et al.* 2018). Further research on these DD species is urgent, especially considering the biological traits that they share as elasmobranchs (long-lived, late maturity, low fecundity) that make them so vulnerable to anthropological impacts (i.e., habitat degradation, trawling, and longline fisheries), particularly coastal elasmobranch species (Dulvy *et al.* 2014; Espinoza *et al.* 2018), such as the rough eagle ray.

The three locations where the species was reported in Costa Rican waters (Gulf of Santa Elena, Gulf of Papagayo and the mouth of the Bongo River) are located near artisanal fishing communities that target demersal fish with bottom longlines, which considerably increases their rate of

interaction with them. Because domestic consumption and trade of ray species is not common in Costa Rica, fishers were persuaded to release incidentally caught rays on-site at no expense to the operation.

The presence of a rough eagle ray was confirmed in the Gulf of Santa Elena in April 2015, following a lead provided by a local fisher, who observed "a distinguishably large, brown eagle ray with a huge head" in March of that same year. Due to the numerous white spots present on the back end of the disc, *A. asperrimus* could be easily confused with the spotted eagle ray *Aetobatus laticeps* Gill, 1865 (Grove & Lavenberg, 1997). Nevertheless, fishers in this area that target octopus in La Cornuda (Gulf of Santa Elena) all year round claim to have never seen this species before 2015. In addition, the well-known diver Carlos Hiller (resident of the nearby coastal community of Playas del Coco), who provided the video footage of the sighting at Punta Naranja, had never personally seen this species before. These claims suggest that reports of the rough eagle ray in coastal habitats of Costa Rica are rare and are possibly associated with changes in oceanographic patterns such as El Niño-Southern Oscillation (ENSO). ENSO events occur at variable year intervals (usually 2 to 7 years). During these events, the conditions in the Eastern Tropical Pacific change, affecting a variety of

marine species and ecosystems (Fiedler, 2002). Although ENSO effects have been documented on corals, birds, sea turtles, and pinnipeds across the Eastern Tropical Pacific (Trillmich & Limberger, 1985; Valle *et al.* 1987; Saba *et al.* 2007; Romero-Torres *et al.* 2020; Martínez-Castillo *et al.* 2022), the potential impact of ENSO on elasmobranchs has not been sufficiently studied. Further data about the species' presence through time is required to evaluate this assumption. Nonetheless, more information regarding the local and regional status of the rough eagle ray, along with its distributional range in the Eastern Pacific Ocean, is needed to make more accurate assumptions on the species' abundance, ecology, and conservation needs in Costa Rica.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to acknowledge the efforts of all the volunteers and research assistants that helped us during the bull shark research project, as well as the volunteers and members of Equipo Tora Carey, especially Mathilde Giry and Damien Cordier for providing boat transportation to La Cornuda. Special thanks to fisherman Amado Quirós for the constant support that makes our research activities possible. We also want to thank Carlos Hiller for the recording from Punta Naranja and Roy Saravia for preparing

the map. In addition, we would like to express our gratitude to the reviewers whose comments helped us to improve the manuscript.

REFERENCES

- Aschliman, N. C. (2014). Interrelationships of the durophagous stingrays (Batoidea: Myliobatidae). *Environ. Biol. Fishes*, 97(9), 967-979. <https://doi.org/10.1007/s10641-014-0261-8>
- Bussing, W. A. & López, M. I. (2009). Marine Fish. In I. S. Wehrtmann & J. Cortés (Eds.), *Marine biodiversity of Costa Rica, central america* (pp. 453-458). Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8278-8_42
- Castro-Aguirre, J. L. & Espinosa-Pérez, H. (1996). *Catálogo sistemático de las rayas y especies afines de México*. Listados Faunísticos de México VII. Ciudad de México: Instituto de Biología-UNAM.
- Dulvy, N. K., Fowler, S. L., Musick, J. A., Cavanagh, R. D., Kyne, P. M., Harrison, L.R., ... & White, W. T. (2014). Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *Elife*, 3:e00590. <https://doi.org/10.7554/eLife.00590>
- Ehemann, N. R., González-González, L. V., Chollet-Villalpando, J. G. & Cruz-Agüero, J. D. L. (2018). Updated checklist of the extant Chondrichthyes within the exclusive economic zone of Mexico. *ZooKeys*, 774,17-39. <https://doi.org/10.3897/zookeys.774.25028>
- Espinosa, M., Díaz, E., Angulo, A., Hernández, S. & Clarke, T. M. (2018). Chondrichthyan diversity, conservation status, and management challenges in Costa Rica. *Front. Mar. Sci.* 5, 85. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00085>

- Fiedler, P. C. (2002). Environmental change in the eastern tropical Pacific Ocean: review of ENSO and decadal variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 244, 265-283. <https://doi.org/10.3354/meps244265>
- Grove, J. S. & Lavenberg, R. J. (1997). *The fishes of the Galápagos Islands*. USA: Stanford University Press.
- Last, P. R., White, W. T., Carvalho, B. S., Stehmann, F. W. & Naylor, G. J. P. (2016). *Rays of the world*. EE. UU.: CSIRO Publishing. <https://doi.org/10.1071/9780643109148>
- Martínez-Castillo, V., Rodríguez-Troncoso, A. P., Mayfield, A. B., Rodríguez-Zaragoza, F. A., & Cupul-Magaña, A. L. (2022). Coral recovery in the central Mexican Pacific 20 years after the 1997-1998 El Niño Event. *Oceans*, 3(1), 48-59.
- McEachran, J. D. & Notarbartolo di Sciarra, G. (1995). Peces Batoideos. In W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter & V. H. Niem (Eds.), *Guía FAO para identificación de especies para los fines de la pesca Pacífico Centro-Oriental* (pp. 745-792). Italy: FAO.
- Robertson, D. R. & Allen, G. R. (2015). Shorefishes of the Tropical Eastern Pacific: online information system. <https://biogeodb.stri.si.edu/sfstep/en/thefishes/species/265>
- Romero-Torres, M., Acosta, A., Palacio-Castro, A. M., Treml, E. A., Zapata, F. A., Paz-García, D. A. & Porter, J. W. (2020). Coral reef resilience to thermal stress in the Eastern Tropical Pacific. *Glob. Change Biol.*, 26(7), 3880-3890. <https://doi.org/10.1111/gcb.15126>
- Saba, V. S., Santidrián-Tomillo, P. I. L. A. R., Reina, R. D., Spotila, J. R., Musick, J. A., Evans, D. A. & Paladino, F. V. (2007). The effect of the El Niño Southern Oscillation on the reproductive frequency of eastern Pacific leatherback turtles. *J. Appl. Ecol.*, 44(2), 395-404. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01276.x>
- Sievers, M., Brown, C. J., Tulloch, V. J., Pearson, R. M., Haig, J. A., Turschwell, M. P. & Connolly, R. M. (2019). The role of vegetated coastal wetlands for marine megafauna conservation. *Trends Ecol. Evol.*, 34(9), 807-817. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.04.004>
- Trillmich, F. & Limberger, D. (1985). Drastic effects of El Niño on Galapagos pinnipeds. *Oecologia*, 67, 19-22.
- Valenti, S. V. & Kyne, P. M. (2016). *Aetomylaeus asperrimus*. the iucn red list of threatened species. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T161396A104022431.en>
- Valle, C. A., Cruz, F., Cruz, J. B., Merlen, G. & Coulter, M. C. (1987). The impact of the 1982-1983 El Niño-Southern Oscillation on seabirds in the Galapagos Islands, Ecuador. *J. Geophys. Res. Oceans.*, 92(Issue C13), 437-444. <https://doi.org/10.1029/JC092iC13p14437>
- Weigmann, S. (2016). Annotated checklist of the living sharks, batoids and chimaeras (Chondrichthyes) of the world, with a focus on biogeographical diversity. *J. Fish Biol.*, 88(3), 837-1037. <https://doi.org/10.1111/jfb.12874>
- White, W. T. (2014). A revised generic arrangement for the eagle ray family Myliobatidae, with definitions for the valid genera. *Zootaxa*, 3860(2), 149-166. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3860.2.3>
- White, W. T., Last, P. R. & Baje, L. (2016). *Aetomylaeus caeruleofasciatus*, a new species of eagle ray (Myliobatiformes: Myliobatidae) from northern Australia and New Guinea. *Ichthyol. Res.*, 63(1), 94-109. <https://doi.org/10.1007/s10228-015-0480-9>

Supporting information

The supporting video taken from the encounter is available for viewing at:

<https://youtu.be/a7KKIYGUnSQ>

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.

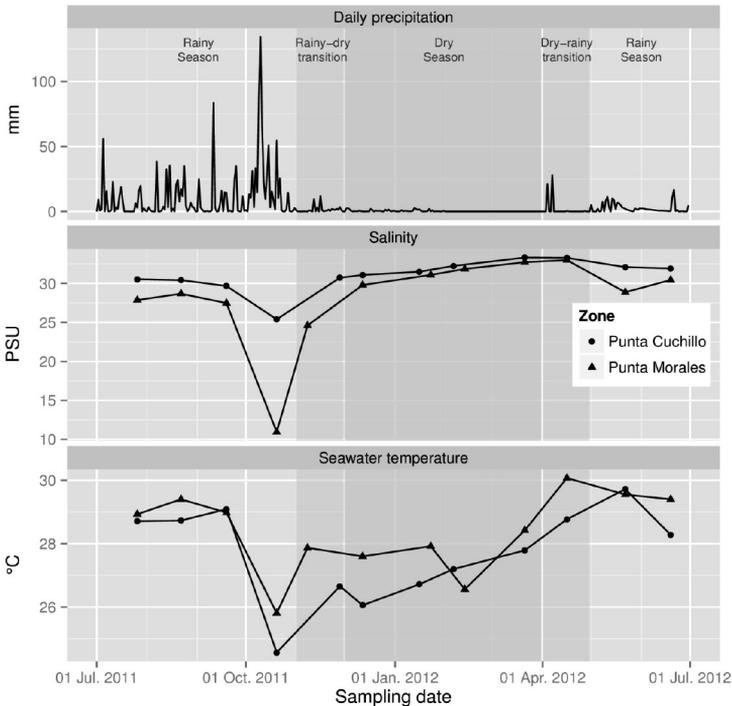


Fig. 3. Precipitación diaria (mm) y salinidad (UPS) y temperatura (°C) mensual registradas de julio de 2011 a junio de 2012 en las zonas de cultivo de *Crassostrea gigas* de Punta Cuchillo y de Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Se representan la estación seca, la estación lluviosa y los meses 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](http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/revmar)” 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.

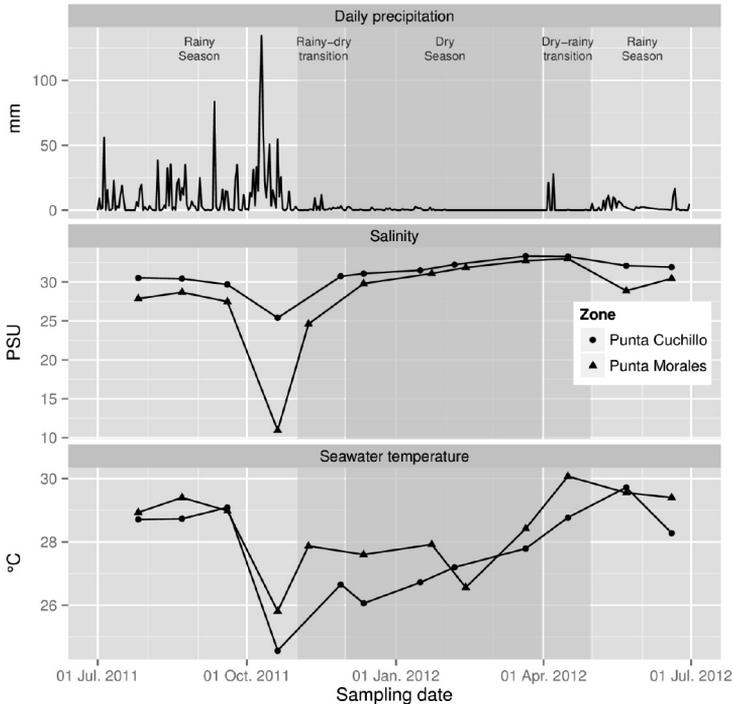


Fig. 3. Precipitación diaria (mm) y salinidad (UPS) y temperatura (°C) mensual registradas de julio de 2011 a junio de 2012 en las zonas de cultivo de *Crassostrea gigas* de Punta Cuchillo y de Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Se representan la estación seca, la estación lluviosa y los meses 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.



PUBLICACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL

Esta revista se imprimió en el Programa de Publicaciones e Impresiones de la Universidad Nacional en el 2022, consta de un tiraje de 50 ejemplares en papel bond y cartulina barnizable. Cuenta a su vez, con las respectivas versiones en formatos Pdf interactivo, HTML, Epub y XML para lectura en dispositivos electrónicos, puede localizar y acceder la revista digital en el portal académico <https://www.revistas.una.ac.cr/>