

ISSN 1659-455X

REVMAR

REVISTA CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS

VOLUMEN 15(1)





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

Caracterización del sustrato y el agua intersticial del manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica

Characterization of the substrate and interstitial water of Mata de Limón mangrove, Puntarenas, Costa Rica

Yixlen Guzmán-Sánchez, José Andrés Vargas-Solano, Ana Lucía Arrieta-Sancho, Esteban Esquivel-Martín, Gustavo Rojas-Ortega y Luis Villalobos-Chacón..... 9-26

Segregation by size in the mouthless crab *Cardisoma crassum* (Brachyura: Gecarcinidae) from Ponuga, Veraguas, Panama

Segregación por talla en el cangrejo sin boca, *Cardisoma crassum* (Brachyura: Gecarcinidae) en Ponuga, Veraguas, Panamá

Roberto C. Lombardo González & Leidys M. Cedeño Pinto 27-44

First record of *Mysidopsis gemina* Price, Heard & Vargas, 2019 (Crustacea, Peracarida, Mysida, Mysidae) on the west coast of Mexico

Primer registro de *Mysidopsis gemina* Price, Heard & Vargas, 2019 (Crustacea, Peracarida, Mysida, Mysidae) en la costa oeste de México

José Carlos Hernández-Payán & Michel E. Hendrickx 45-52

Macrofauna bentónica asociada a raíces de *Rhizophora mangle* en la Ciénaga de La Palmita, Sistema de Maracaibo, Venezuela

Benthic macrofauna associated with roots of *Rhizophora mangle* in the Ciénaga de La Palmita, Maracaibo System, Venezuela

Luis Lárez-Rodríguez, Mario Nava-Ferrer, Jinel Mendoza-Luzardo, Nancy Hernández-Pulgar y Lilibeth Cabrera-Salas..... 53-74

Sistema integrado para la vigilancia y gestión de floraciones algales nocivas en la provincia de Cienfuegos, Cuba

Integrated system for the surveillance and management of harmful algal blooms in coastal areas of the province of Cienfuegos, Cuba

Gabriel Liván Rojas-Abrahantes, María Elena Castellanos-González, Clara Elisa Miranda-Vera¹, Lisbet Díaz-Asencio, Olidia Hernández-Leyva, Livan Rojas-Lantigua y Ángel Ramón Moreira-González 75-98

Capacidad antioxidante de bacterias lácticas aisladas de peces e invertebrados marinos de la provincia de Chubut, Patagonia-Argentina

Antioxidant capacity of lactic acid bacteria isolated from marine fish and invertebrates of the province of Chubut, Patagonia, Argentina

Franco M. Sosa, Romina B. Parada, María A. Sánchez-Cabrera,

Emilio R. Marguet y Marisol Vallejo..... 99-112

Instrucciones a los autores 113-144

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.

Caracterización del sustrato y el agua intersticial del manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica

Characterization of the substrate and interstitial water of Mata de Limón mangrove, Puntarenas, Costa Rica

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



RESUMEN

Los manglares son sistemas que mediante la interacción marino terrestre varían durante el tiempo y son altamente productivos. El objetivo del estudio fue describir la granulometría, parámetros fisicoquímicos y nutrientes del humedal de Mata de Limón. En el año 2014, se establecieron seis parcelas de monitoreo para analizar los sedimentos, nutrientes y parámetros fisicoquímicos. Se encontró mayor presencia de arenas, en especial las gruesas. Los valores de pH fueron muy similares, la mayoría cercanos a 8; mientras que la oxidación-reducción mostró una predominancia a procesos reductivos con un mínimo de -54 y un máximo de -3 mV. En cuanto a los nutrientes la concentración más alta de amonio fue de 29.2 $\mu\text{mol/L}$, en tanto que la más baja fue de cero. En el caso del nitrato, la superior fue de 30.53 $\mu\text{mol/L}$, y la inferior de 1.01 $\mu\text{mol/L}$. Tanto para los fosfatos como los silicatos, la mayor fue de 21.59 y 174.95 $\mu\text{mol/L}$, y la menor de 0.71 y 19.66 $\mu\text{mol/L}$ respectivamente. El humedal de Mata de Limón está conformado mayormente por arenas; los parámetros fisicoquímicos están afectados por variaciones espaciotemporales, y un alto contenido de nutrientes. Sin embargo, es perturbado por presiones antropogénicas, causando inestabilidad en las variables evaluadas, lo que incrementa su complejidad; por el contrario, el sistema fluvial corresponde a un patrón más estable con cambios predecibles al interior del ecosistema.

Palabras clave: estructura del manglar, sedimentos, componentes abióticos, nitrógeno, manglar periurbano

- 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

Mangroves are systems that, through land-sea interaction, vary in time and are highly productive. The objective of the study was to describe the granulometry, physicochemical parameters, and nutrients of the Mata de Limón Wetlands. In 2014, six monitoring plots were established to analyze the sediments, nutrients and physicochemical parameters. A greater presence of sand was found, especially thick sand. The pH values were very similar, most of them close to 8, while oxidation-reduction values showed a predominance of reductive processes with a minimum value of -54 and a maximum value of -3 mV. Regarding nutrients, the maximum concentration of ammonium was 29.2 $\mu\text{mol/L}$, while the minimum was zero. In the case of nitrate, the highest was 30.53 $\mu\text{mol/L}$ and the lowest was 1.01 $\mu\text{mol/L}$. For both phosphates and silicates, the maximum values were 21.59 and 174.95 $\mu\text{mol/L}$, and the minimum were 0.71 and 19.66 $\mu\text{mol/L}$, respectively. The Mata de Limón Wetlands are comprised mainly by sand; the physicochemical parameters are affected by spatiotemporal variations and a high quantity of nutrients. Nevertheless, it is disturbed by anthropogenic pressures, causing instability in the evaluated variables, which increases their complexity; on the contrary, the river system corresponds to a more stable pattern with predictable changes to the interior of the ecosystem.

Keywords: mangrove structure, sediments, abiotic components, nitrogen, peri-urban mangrove

INTRODUCCIÓN

Los manglares son sistemas que mediante la interacción marino terrestre varían durante el tiempo y son altamente productivos; sin embargo, son uno de los biomas más amenazados de los trópicos (Tenorio & Timaná, 2017). Condiciones específicas como la temperatura, vientos, mareas, salinidad, entrada de agua dulce, y el tipo de sedimento son variables que inciden en su desarrollo; por lo tanto, cambios en su entorno como el crecimiento urbano, la transformación del uso de suelo y la deforestación los hacen más vulnerables (Acuña-Piedra & Quesada-Román, 2017).

Asimismo, la heterogeneidad espacio temporal de los componentes bióticos y abióticos están influenciados por las características del sedimento, su composición mineral, el estado y cantidad de los desechos orgánicos y el comportamiento hídrico de las mareas y el agua dulce (Otero *et al.* 2009).

Estos factores afectan la saturación hídrica, salinidad y la absorción de materia orgánica; además, la vegetación y los patrones hidrológicos locales hacen que los ecosistemas de manglar sean áreas altamente variables en su estructura, composición y productividad (Feller *et al.* 2003; Hosain & Nuruddin, 2016).

Por lo anterior, es posible identificar los cambios de utilización del suelo mediante la pérdida de estructura vegetal, reducción de su materia orgánica y perturbaciones químicas y físicas en su capa superficial (Moreno-Martínez *et al.* 2021). En particular, considerando que las causas más importantes de desaparición del manglar se deben a la transformación del uso de la tierra, la sobreexplotación y erosión de la costa (Lim-Vega, 2022).

Igualmente, es de importancia conocer la concentración, composición y disponibilidad de los nutrientes dentro de los ecosistemas de manglar, ya que su conformación puede variar dependiendo de la zona donde estos se desarrollen (Alongi, 2021). Esta variación se debe a que la forma química en la que se hallan está relacionada directamente con los procesos microbianos que se puedan desarrollar en el sitio, ya sean aeróbicos o anaeróbicos, permitiendo que exista un reciclaje ecológico de estos componentes (Wang *et al.* 2022).

En este sentido, las características fisicoquímicas como el pH y los nutrientes que presentan los suelos y el agua intersticial permiten conocer la adaptabilidad a los cambios, así como el establecimiento y colonización de las especies de manglar en nuevas áreas, determinando el grado de afectación al que se enfrentan estos sitios (Méndez & Jiménez, 2015).

Por esta razón, es importante entender los cambios que ocurran a lo largo del tiempo para poder realizar un manejo adecuado del ecosistema (Huaylinos *et al.* 2003). Considerando lo anterior, se retomó la información obtenida en el año 2014, con la finalidad de establecer el punto de referencia de algunos aspectos fisicoquímicos del manglar de Mata de Limón de los cuales no existen datos científicos publicados, además de complementar la información estructural y de composición previamente publicada.

Por ello, el objetivo del estudio fue caracterizar la granulometría, nutrientes y parámetros fisicoquímicos del manglar de Mata de Limón con el propósito de crear una línea base como insumo para el manejo del ecosistema y comparación de variaciones en el tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: el manglar de Mata de Limón se ubica en el Pacífico Central, Costa Rica, al noreste de la zona portuaria de Caldera; tiene una longitud cercana a los 1 650 metros en el área contigua su playa, y forma parte de la Zona Protectora Tivives (ZPT) (MINAE *et al.* 1999) (Fig. 1). Los aportes de agua dulce al humedal se dan especialmente por el riachuelo Cambalache, y algunas quebradas intermitentes; la estación seca se

presenta de mediados de noviembre a abril y en los demás meses la estación lluviosa (SINAC, 2018).

En este humedal costero se han identificado seis de las siete especies nucleares de mangle reportadas en el país (MINAET, 2010. Decreto N.º

35806), con mayor predominancia de *Avicennia germinans*; no obstante, presenta afectaciones en su estructura y composición debido a las perturbaciones que ha enfrentado a lo largo del tiempo (Guzmán-Sánchez *et al.* 2022).

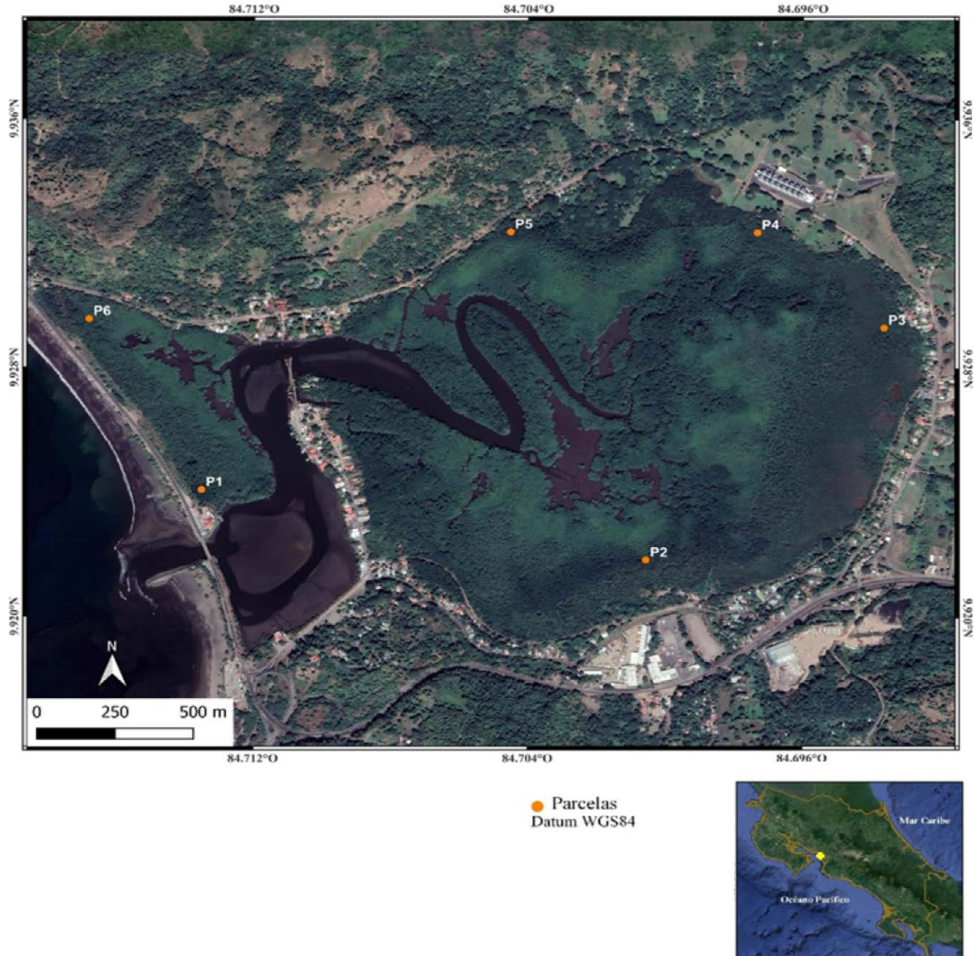


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio y las parcelas de muestreo en el manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica (P simboliza parcela)
Fig. 1. Location of the study area and sampling plots in the Mata de Limón mangrove forest, Puntarenas, Costa Rica (P stands for plot)

Dentro de estas perturbaciones destacan la disminución de la entrada de agua por la construcción de un tramo de la carretera costanera sur y el puente, la actividad humana llevada a cabo en las cuencas hidrográficas cercanas y la construcción del Complejo Portuario de Caldera, que han ocasionado modificaciones en los patrones de distribución del sedimento y una disminución en la capacidad de retención de agua debido al suministro excesivo de estos (Güell *et al.* 2000; Guzmán-Sánchez *et al.* 2022).

Considerando lo anterior, la ubicación de las parcelas se realizó en función del grado de intervención antropogénica, zonación característica de los manglares e influencia del flujo del agua, por lo tanto; la primera y la sexta son aquellas que tienen mayor cercanía a la costa y se encuentran mayormente asociadas al género *Rhizophora*.

Por su parte, la segunda tiene la mayor proximidad a la central de contenedores de Caldera; mientras que la quinta se ubica en un sector mejor conservado y cuenta con la presencia de cinco de las seis especies de manglar identificadas en el humedal, ambas se localizan a una distancia media del litoral. Por último, la tercera y cuarta son aquellas que se hallan más alejadas del mar (Fig. 1).

Análisis granulométrico de los sedimentos: en marzo del año 2014, se establecieron seis parcelas de muestreo (cinco de 10x25 m y la #6

de 10x10 m); en cada una se tomó una muestra de sedimento en rangos de profundidad entre los 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm y 80-100 cm con un barreno tipo Edelman.

Posteriormente, fueron llevadas en una hielera al laboratorio de Control de Calidad, en la Estación de Biología Marina Juan Bertoglia Richards de la Universidad Nacional, donde se secaron a 105°C durante 24 horas en un horno de secado. Seguidamente, la totalidad de cada una fue pesada en una balanza analítica y luego tamizadas de acuerdo con lo propuesto por la ASTM (2007), para obtener las fracciones según el tamaño de las partículas, utilizando tamices de diferente abertura de malla (0.9532 mm, 850 µm, 450 µm, 250 µm, 150 µm, 75 µm).

Después la porción retenida en cada criba fue pesada en una balanza analítica y se calculó el porcentaje de composición correspondiente a cada tamiz en función del peso total inicial de cada muestra, lo que permitió identificar el perfil granulométrico presente en cada una de ellas.

Análisis del agua intersticial y parámetros fisicoquímicos: se colocó en cada parcela un tubo de PVC de 120 cm de longitud tapado en la parte superior, que presentaba perforaciones en los primeros 15 cm del extremo inferior las cuales estaban cubiertas con cedazo para posibilitar la circulación del agua intersticial.

Un mes después se hicieron las tomas de agua, donde fueron recolectadas al menos dos por estación de muestreo; además, fueron utilizados contenedores de plástico para evitar cualquier reactividad del envase con la concentración de alguno de los nutrientes, que se transportaron en frío (a una temperatura cercana a los 0°C) al laboratorio de Control de Calidad, donde se analizaron los siguientes nutrientes por métodos espectrofotométricos: amonio, nitratos, nitritos, fosfatos y silicatos, según la metodología establecida por Strickland & Parsons (1972) y Rice *et al.* (2012).

Por cada una de las muestras de agua, fueron utilizadas tres alícuotas por nutriente para la determinación de su concentración por los métodos mencionados anteriormente. Además, se midió el pH y potencial redox con un multiparámetro Thermo Scientific Orion 5 Star®, mientras que la alcalinidad fue calculada por volumetría en mg/L CaCO₃ (Sierra, 2011).

Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos: para el cálculo de los resultados se utilizó el programa Statgraphics Centurion (2007); pruebas de varianza de una vía no paramétrica Kruskal-Wallis, para comprobar si había diferencias significativas entre las parcelas y su concentración de nutrientes; además, de los parámetros fisicoquímicos en cada una de ellas. Las variables que mostraron diferencias significativas fueron analizadas

mediante Test de Rangos Múltiples en un nivel de significancia alfa de 0.05.

RESULTADOS

Análisis granulométrico: debido a que el sedimento de las parcelas tres, cuatro y cinco no presentaba una textura adecuada fue imposible extraer las muestras de las profundidades 40-60-80 cm de la tres, y 80 cm de la cuatro y cinco.

Por otro lado, en términos generales, el manglar de Mata de Limón está compuesto principalmente por arenas, siendo las gruesas las de mayor presencia con un promedio de $28 \pm 3\%$. Contrariamente a lo presentado por las gravas, que fueron las de menor porcentaje promedio en todo el humedal (Cuadro 1).

En cuanto a la composición de partículas en función de la profundidad de la muestra por parcela, se encontró que en la uno la conformación del sedimento varía en cada una de las profundidades. No obstante, a 20 cm hay una mayor cantidad de arenas; y a 40 cm es posible observar que se compone principalmente de gravas. Mientras que la constitución de la dos tiende a ser uniforme en la mayoría de las profundidades (Fig. 2).

En la tres se observa una composición similar de gravas y arcilla + limo en la superficie, mientras que en la segunda capa de sedimento se encuentran en alto porcentaje las arenas. La

Cuadro 1. Promedio y porcentaje del tipo de partícula encontrado en cada parcela establecida en el manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica (D. E.: desviación estándar)

Table 1. Average and percentage of the type of particle found in each plot established in the Mata de Limón mangrove swamp, Puntarenas, Costa Rica (S.D.: standard deviation)

Tipo de partículas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Promedio ± D. E.
Grava	5%	2%	6%	7%	8%	4%	5 ± 2%
Grava fina	23%	15%	6%	26%	20%	11%	18 ± 7%
Arenas gruesas	27%	30%	33%	27%	26%	23%	28 ± 3%
Arenas medias	15%	20%	21%	16%	17%	21%	18 ± 3%
Arenas finas	15%	17%	25%	13%	15%	19%	17 ± 4%
Arcilla + limos	15%	17%	9%	12%	13%	21%	15 ± 4%

cuatro presentó la misma composición de partículas, pero distribuidas de manera homogénea a lo largo de todas las profundidades. La más alta variación la presentan las gravas, que a los 20, 40 y 60 cm son las de mayor proporción (Fig. 2).

En el caso de la cinco, se encontró que las arenas predominan especialmente a los 60 cm, mientras que las gravas tienen una importante presencia a los 0 y 40 cm. Finalmente, en la seis se presenta uniformidad en la composición de las gravas a 0, 40 y 60 cm, en tanto que a 80 cm es donde se puede ver la mayor variación al ser las partículas arenosas las de mayor presencia (Fig. 2).

Concentración de nutrientes y parámetros fisicoquímicos: la parcela cuatro presentó el máximo nivel de amonio (NH_4^+) con 29.2 $\mu\text{mol/L}$; en

tanto que la dos tuvo cero. En el caso del nitrito (NO_2^-), la parcela tres obtuvo la mayor cantidad (10.19 $\mu\text{mol/L}$), mientras que la seis la menor (0.42 $\mu\text{mol/L}$) (Fig. 3).

Para el nitrato (NO_3^-) la mayor concentración la tuvo la parcela dos con 30.53 $\mu\text{mol/L}$, y la menor la tuvo la tres con de 1.01 $\mu\text{mol/L}$. Para los fosfatos (PO_4^{3-}) y los silicatos (SiO_2^+) los valores máximos fueron encontrados en la tres (21.59 y 174.95 $\mu\text{mol/L}$), mientras los mínimos en la uno (0.71 y 19.66 $\mu\text{mol/L}$), respectivamente (Fig. 3).

Por otro lado, la concentración por parcela, de fosfatos y silicatos no presentó ninguna homogeneidad entre sitios. Sin embargo, los nitratos tuvieron una similitud entre las parcelas uno y seis; y tres y cinco. Para los

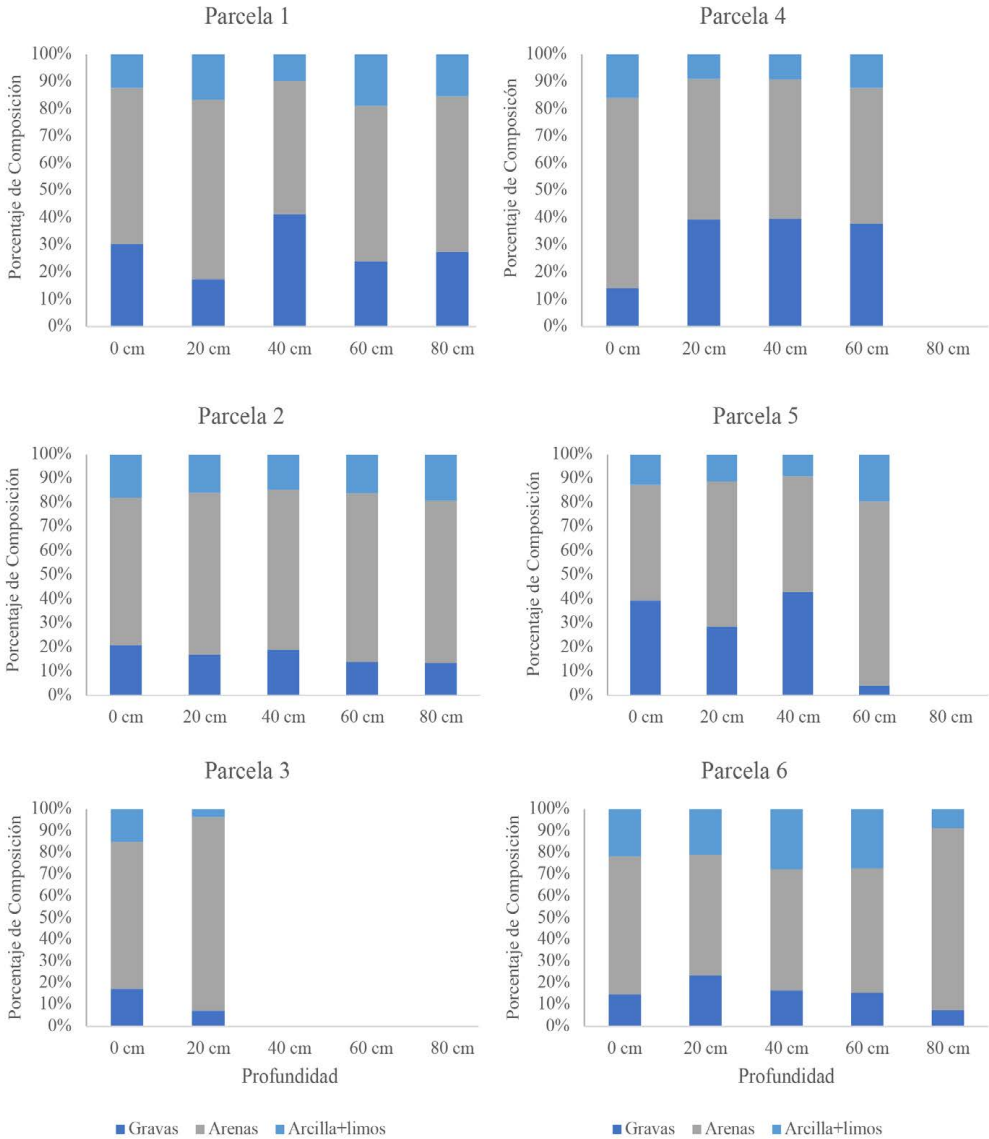


Fig. 2. Porcentaje de composición de sedimento por cada parcela del manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica

Fig. 2. Percentage of sediment composition by depth in each plot established in the Mata de Limón mangrove swamp, Puntarenas, Costa Rica

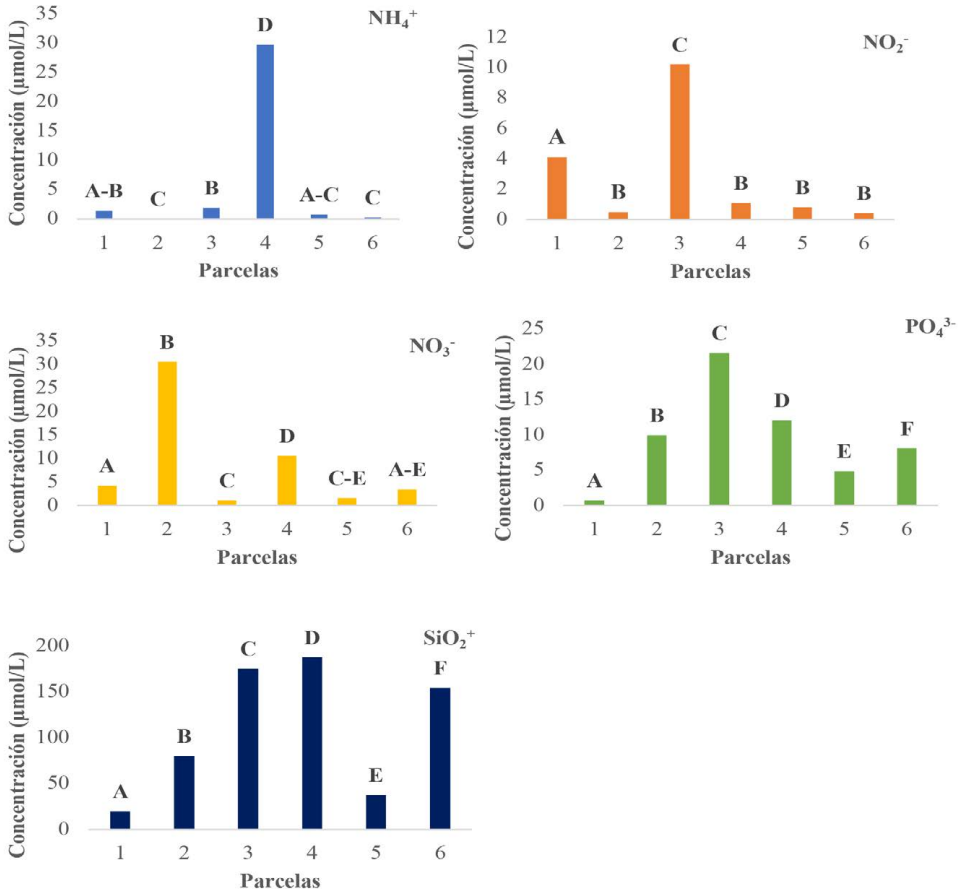


Fig. 3. Concentración en micromoles por litro de amonio (NH_4^+), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{3-}) y silicatos (SiO_2^+) presentes en las parcelas establecidas en el manglar de Mata de Limón. Letras diferentes entre columnas de un mismo gráfico de nutriente representan diferencias de concentración entre parcelas ($P < 0.05$)

Fig. 3. Concentration in micromoles per liter of ammonium (NH_4^+), nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-), phosphates (PO_4^{3-}) and silicates (SiO_2^+) present in the plots established in the Mata de Limón mangrove swamp. Different letters between columns of the same nutrient graph represent concentration differences between plots ($P < 0.05$)

Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos del agua (pH, potencial oxidación-reducción y alcalinidad) medidos en el manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica. Letras diferentes representan diferencias significativas con respecto a la variable entre parcelas ($P < 0.05$)

Table 2. Physicochemical parameters of water (pH, oxidation-reduction potential and alkalinity) measured in the Mata de Limón mangrove swamp, Puntarenas, Costa Rica. Different letters represent significant differences with respect to the variable between plots ($P < 0.05$)

Parcela	pH	Potencial oxidación-reducción (mV)	Alcalinidad ($\text{CaCO}_3^- \text{ mg L}^{-1}$)
1	7.86 - A	-30.9 - A	100 - A
2	7.36 - B	-4.2 - B	166.5 - B
3	8.09 - C	-42.95 - C	666.65 - C
4	7.35 - B	-3.5 - B	233.35 - D
5	7.65 - D	-19.05 - D	166.5 - B
6	8.34 - F	-54.05 - F	333.35 - F

nutrientes restantes hubo agrupaciones similares entre dos o más zonas (Fig. 3).

En relación con los parámetros fisicoquímicos del agua se encontró que el pH entre sitios fue muy similar entre sí, con un valor máximo en la seis (8.34), y el mínimo en la cuatro (7.35). Por otro lado, el potencial de oxidación reducción solamente presentó cifras asociadas a este proceso o con esta tendencia, siendo la cuatro la máxima (-3.50) y la seis la mínima (-54.05), estando está cercana al estero; y la anterior ubicada en la parte interna del manglar (Cuadro 2).

Por último, la alcalinidad obtenida alcanzó su mayor concentración en la parcela tres con un valor de 666.65 $\text{CaCO}_3^- \text{ mg/L}$, y su mínimo en la uno

100 $\text{CaCO}_3^- \text{ mg/L}$ (Cuadro 2). De esta manera, lo más común fue encontrar diferencias significativas por parámetros fisicoquímicos entre sitios, a excepción de un caso por cada variable de homogeneidad. Para el pH y el potencial oxidación-reducción, existe una similitud entre la parcela dos y cuatro, mientras que de forma inversa hay una semejanza de alcalinidad (Cuadro 2).

DISCUSIÓN

Análisis granulométrico de los sedimentos: los resultados muestran que el sustrato del humedal de Mata de Limón está compuesto principalmente por arenas, en este sentido se ha

determinado que cercano a un metro de profundidad el sedimento de manglar suele distinguirse por ser primordialmente orgánico (Agraz-Hernández, 1999).

Sin embargo, también se ha documentado que en sitios próximos a barreras arenosas o bien en zonas más someras hay presencia de fracciones de partículas en estas profundidades, ya que las condiciones energéticas pueden generar una mitigación en la capacidad de transporte de partículas por medio de la corriente provocando una deposición de los sedimentos (Agraz-Hernández, 1999; Barboza *et al.* 2006; Tenorio & Timaná, 2017).

Lo anterior, se ve reflejado en el manglar de Mata de Limón, donde la configuración del espacio y las condiciones topográficas de la depresión, en que se ubica el sistema lagunar, ha generado un ambiente de captura de sedimentos que favorece la distribución y acumulación de materiales en el estero, ocasionando el transporte de las partículas más finas hacia las zonas centrales, mientras que en el borde del área depresiva se acumulan las más pesadas y de mayor tamaño (Güell *et al.* 2000).

Según Ongay (2016), los suelos de manglar que presentan mayoritariamente partículas finas como las arcillas y los limos se ven favorecidos en el desarrollo de las plántulas y en la productividad primaria debido a que se da un aumento en la evacuación, lo

que permite que el agua pueda llegar a las raíces más profundas mejorando así la asimilación de nutrientes, gracias a la gran capacidad de retención de este tipo de material.

No obstante, algunas especies también muestran mayor facilidad para desarrollarse en granulometrías gruesas como *Avicennia spp.* y *Laguncularia racemosa* (Barrantes-Leiva & Cerdas-Salas, 2016); en el caso de Mata de Limón esto se evidencia principalmente con *L. racemosa* que fue la más importante en las parcelas cuatro y seis (Guzmán-Sánchez *et al.* 2022), donde se presentan altos porcentajes de gravas finas y arenas gruesas (Cuadro 1).

Finalmente, otro factor que debe considerarse es el efecto que las actividades antropogénicas, como la construcción, la agricultura y la ganadería tienen en la composición del suelo. Este tipo de intervenciones genera una constante movilización de los sedimentos y sobre todo una conversión del terreno, ocasionando la presencia frecuente de partículas de mayor tamaño ($> 75 \mu\text{m}$) (Moreno-Martínez *et al.* 2021).

Por lo anterior, se genera una mayor densidad aparente del suelo que puede ser provocada por el paso frecuente de ganado y personas o la eliminación parcial de la franja arbustiva y herbácea (Moreno-Martínez *et al.* 2021); son situaciones que se observaron durante los muestreos y continúan

siendo recurrentes en la zona; así como los constantes dragados que se realizan en el puerto de Caldera.

Análisis del agua intersticial y parámetros fisicoquímicos:

El manglar de Mata Limón por su estructura vegetal corresponde a uno perturbado, con una predominancia de *Avicennia germinans*; por consiguiente muestra una heterogeneidad clara de manera que los sitios más alejados de los asentamientos humanos presentan una complejidad superior, mientras que las zonas más externas un menor desarrollo (Guzmán-Sánchez *et al.* 2022), lo que podría deberse a la acumulación de sedimentos que ha generado modificaciones en la circulación natural de su sistema de corrientes (Güell *et al.* 2000), lo que a su vez influye en la concentración de nutrientes y parámetros fisicoquímicos.

Con respecto a la concentración de nitrógeno en forma de N-NO_2^- y N-NO_3^- , y su relación inversa con la del amonio presente en una misma parcela, son atribuidas sobre todo a los diferentes tipos de microhábitats aeróbicos o anaeróbicos generados por raíces o capas oxigenadas de suelo poroso (Boto & Wellington, 1984).

Los procesos microbianos en la dinámica del nitrógeno dependen en gran medida del potencial oxidación-reducción del sedimento (dos y cuatro), la nitrificación se da únicamente en presencia de oxígeno,

mientras que los demás (desnitrificación, anammox y reducción de nitrato) en condiciones anóxicas (Ramírez-Lozada & Rojas-Villamil, 2020).

La parcela dos presentó la mayor concentración de N-NO_3^- y la menor de N-NH_4^+ , lo que sugiere que ocurrió un proceso de oxidación completo, y corresponde a un sitio con buena oxigenación; mientras tanto, para la tres fue posible visualizar un proceso incompleto, prevaleciendo el N-NO_2^- (Tam & Wong, 1998), este sitio es el que se encuentra más alejado de la costa, y se ubica en un sector donde anteriormente, hubo una salinera; aspectos que podrían estar influenciado estos resultados.

Finalmente, con respecto a las otras formas de nitrógeno, la parcela cuatro corresponde al sitio donde fue posible visualizar la mayor concentración de N-NH_4^+ , y la menor de N-NO_2^- y N-NO_3^- . Generalmente, sitios con estas características corresponden a zonas donde ocurren procesos de mineralización, debido a una menor disponibilidad de oxígeno, y por lo general secos con poca escorrentía (Tam & Wong, 1998), considerando la localización de este sitio es probable que sea menos influenciada por la entrada de agua marina, lo que favorece estos procesos.

De acuerdo con Guzmán-Sánchez *et al.* (2022), el manglar de Mata de Limón en términos de caracterización estructural se encuentra conformado en su mayoría por la especie

Avicennia germinans, la cual corresponde a áreas internas, donde usualmente, se presenta carencia de drenaje y escorrentía. Esto en conjunto con la información anterior, permite visualizar como este sitio de muestreo presenta variaciones en los procesos antes mencionados, lo que a su vez afecta directamente, la fisicoquímica de sus nutrientes.

Los manglares presentan altas tasas de fijación de nitrógeno, vinculados a procesos de descomposición de las hojas, neumatóforos o raíces aéreas, corteza de los árboles, a las comunidades de cianobacterias que conforman tapetes microbianos que cubren la superficie y tipo de sedimento presente (Holguín & Bashan, 2007), de manera que esta variación en la concentración pudo verse afectada por estos diferentes factores en cada una de las parcelas de Mata de Limón.

Por otro lado, las bajas concentraciones encontradas de $P-PO_4^-$ en el agua intersticial, se pueden deber a la mineralización de los compuestos orgánicos presentes, y la capacidad reductiva del ecosistema de manglar, que afecta su presencia; ya que, en aquellos sustratos con menos disponibilidad de fósforo, las bacterias solubilizadoras de este nutriente se encargan de liberar estos iones para contribuir con su biodisponibilidad en el ecosistema, principalmente, porque este elemento es vital para el crecimiento de las plantas (Krom & Berner, 1981).

Los manglares componen sistemas con óptimas condiciones para la descomposición de la materia orgánica, que funciona como un método de liberación de fósforo por medios microbianos (Rammanathan *et al.* 2008). Holguín & Bashan (2007), mencionan como su baja concentración puede verse reflejada por la precipitación en el agua intersticial que ocasiona que sea depositada en los sedimentos debido a la abundancia de cationes en las aguas marinas e imposibilitando su biodisponibilidad por parte de la flora.

Cabe mencionar que el ciclo del fósforo (P) es poco conocido. Se presume que este nutriente se ve relacionado a los procesos geoquímicos del suelo, y una baja concentración de sus formas químicas (PO_4^{3-} o P orgánico) sugiere una poca biodisponibilidad. Siendo necesario realizar más investigaciones con esta orientación para visualizar el impacto de diferentes disturbios antropogénicos en el ciclo de este elemento y la transformación del nutriente en el sustrato (Alongi, 2018).

Con respecto a las altas concentraciones obtenidas de este nutriente en la parcela dos y tres, Méndez & Jiménez (2015), asocian esta diferencia por el uso creciente de fósforo para abonos agrícolas, detergentes y fertilizantes, que traen como consecuencia un aumento considerable en la concentración de fosfatos; lo que se puede atribuir a la mayor densidad urbana presente en este sector del manglar.

Ambos sitios están próximos a posibles fuentes antropogénicas, como el centro de contenedores de Caldera y a la comunidad.

Otra posible explicación para la diferencia de concentración de este nutriente es la presencia/ausencia de bacterias sulfato reductoras, ya que la mayoría de los sedimentos de manglar son principalmente anaeróbicos, siendo estos los descomponedores más importantes, que permiten liberar hierro y fósforo en el sistema (Holguín & Bashan, 2007). De esta manera, posiblemente, la parcela tres cuenta con una mayor cantidad de estos organismos ya que presenta una concentración de $P-PO_4^{3-}$ de 20 $\mu\text{mol/L}$, mientras que la uno, la menor con 0.71 $\mu\text{mol/L}$.

En cuanto a la concentración de silicatos, los valores obtenidos en las parcelas tres, cuatro y seis, son superiores a los 100 $\mu\text{mol/L}$, similares a los reportadas por APECO (2002), para el manglar de San Pedro-Vice, con un rango normal (entre los 169.02 y 260.94 $\mu\text{mol/L}$). Estos mismos autores mencionan que estos resultados son obtenidos porque las aguas dulces tropicales son escasas en electrolitos, constituyendo la mayor parte de su composición total, de manera que usualmente, aparecen en cantidades de moderadas a mayores en la parte continental.

Además, estas concentraciones pueden variar por la intromisión de aguas costeras, que poseen en sus contenidos diferentes tipos de diatomeas,

cuyas tecas se encuentran formadas principalmente por sílice; y el proceso de hidrólisis que pueden sufrir las rocas de cuarzo dentro del suelo provocando que este nutriente sea abundante (Muller, 1969; Loza *et al.* 2011). En este sentido, es posible que la parcela seis se vea afectada por la intromisión del mar, mientras que la tres y cuatro por los afluentes de los ríos dado que están localizadas en el sector más interno del manglar.

Por otro lado, para los sitios donde se presentaron concentraciones bajas como la parcela uno y cinco, Dugdale *et al.* (1995), mencionan como el silicato posee una regeneración mínima en las capas superficiales, de manera que corresponde a uno de los primeros nutrientes que se agota y limita el desarrollo del fitoplancton, aunque no fue medida la cantidad de clorofila “a” en ninguna de nuestras sitios de muestreo. Mientras que para la tres, cuatro y seis, se presenta una alta disponibilidad de este nutriente.

Con respecto a los valores de pH encontrados en el manglar de Mata de Limón, todos se encuentran alrededor de 8 para cada parcela muestreada. Hyualinos *et al.* (2003), lo asociaron a intensos procesos de oxidación y reducción, con una actividad fotosintética que consume el CO_2 , lo cual hace que el medio se torne neutro alcanzando un pH cercano a 8.

Mientras tanto, para los valores de potencial oxidación-reducción

en el manglar de Mata de Limón, los resultados obtenidos reafirman las características para este tipo de ecosistemas, con sedimentos submareales típicos de suelos reductores, debido a la combinación de procesos químicos y biológicos que sufren los sedimentos (Libes, 2009). Por otro lado, aquellos sitios con tendencia más oxidativa fueron probablemente, afectados por mayores flujos de agua, lo cual obedece a la influencia hídrica de reoxigenación de los sedimentos (Mendoza, 2007).

CONCLUSIONES

El manglar de Mata Limón corresponde a un ecosistema que se ha visto afectado por diversos tipos de perturbaciones y presiones antropogénicas que han generado un aumento de la heterogeneidad de su hábitat. Causando inestabilidad en las variables evaluadas, lo que incrementa su complejidad; por el contrario, el sistema fluvial presenta un patrón más estable con cambios predecibles en el interior del lugar.

En general, este manglar presenta partículas gruesas en la parte superficial de los sedimentos, y finas en la porción más profunda, características típicas de este ecosistema, aunque con mayor predominancia de arenas debido a las perturbaciones que ha enfrentado.

Por otro lado, los parámetros físico-químicos y la biodisponibilidad de

nutrientes muestran un alto contenido en porciones con un óptimo recambio de agua y oxigenación, un pH básico, con una predominancia a procesos reductivos y valores de alcalinidad variables al interior de la zona; que, se ven afectados por las variaciones espacio temporales, principalmente por el sistema subfluvial y los procesos de marea.

AGRADECIMIENTOS

A la Estación de Biología Marina Juan Bertoglia Richards de la Universidad Nacional, por las facilidades brindadas para realizar los análisis de las muestras de sedimento y agua intersticial, en especial a Hannia Vega Bolaños. A Jesús Alfaro Rodríguez, Ariel Azofeifa Barrientos, Mónica Espinoza Miralles y Laura Sotela Blanco por el apoyo brindado en la toma de datos y procesamiento de las muestras. Un agradecimiento especial a Ana Yury Saravia Arguedas y Alexandre Tisseaux Navarro. A los dos revisores anónimos por las sugerencias dadas para la mejora de este artículo.

REFERENCIAS

- Acuña-Piedra, J. F. & Quesada-Román, A. (2017). Cambios en el uso y cobertura de la tierra entre 1948 y 2012 en el Humedal Nacional Terraba-Sierpe, Costa Rica. *Rev. Mar. Cost.*, 9(2), 9-28. <http://dx.doi.org/10.15359/revmar.9-2.1>

- Agraz-Hernández, C. M. (1999). *Reforestación experimental de manglares en ecosistemas lagunares estuarinos de la costa noroccidental de México*. (Tesis de doctorado no publicada). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Alongi, D. (2018). Impact of Global Change on Nutrient Dynamics in Mangrove Forests. *Forest*, 9, 1-13. <https://doi.org/10.3390/f9100596>
- Alongi, D. (2021). Macro and Micronutrient Cycling and Crucial Linkages to Geochemical Processes in Mangrove Ecosystems. *J. Mar. Sci. Eng.*, 9(5), 1-26. <https://doi.org/10.3390/jmse9050456>
- APECO (Asociación Peruana para la Conservación de la Naturaleza). (2002). *Evaluación de fauna silvestre en los humedales de Sechura, conservación del sistema de humedales marino-costeros de Sechura provincia de Sechura, Piura-Perú*. Perú. Sin editorial.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). (2007). *ASTM D422-63(2007) e2. Standard test method for particle-size analysis of soils*. EE.UU.: ASTM International.
- Barboza, F., Barreto, M. B., Figueroa, V., Francisco, M., González, A., Lucena L., & Medina, E. (2006). Desarrollo estructural y relaciones nutricionales de un manglar ribereño bajo clima semi-árido. *Ecotrópicos*, 19(1), 13-29.
- Barrantes-Leiva, R. M. & Cerdas-Salas, A. (2016). Distribución espacial de las especies de mangle y su asociación con los tipos de sedimentos del sustrato, en el sector estuarino del Humedal Nacional Terraba-Sierpe, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 63, 47-60. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v63i1.23094>
- Boto, K. G. & Wellington, J. T. (1984). Soils characteristics and nutrient status in a Northern Australian mangrove forest. *Estuaries*, 7, 61- 69. <https://doi.org/10.2307/1351957>
- Dugdale, R. C., Wilkerson, F. P. & Minas, H. J. (1995). The role of a silicate pump in driving new production. *Deep Sea Res.*, 42(5), 697-719. [https://doi.org/10.1016/0967-0637\(95\)00015-X](https://doi.org/10.1016/0967-0637(95)00015-X)
- Feller, I. C., McKee, K. L., Whigham, D. F., & O'neill, J. P. (2003). Nitrogen vs. phosphorus limitation across an ecotonal gradient in a mangrove forest. *Biogeochemistry*, 62(2), 145-175. <https://doi.org/10.1023/A:1021166010892>
- 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.
- Guzmán-Sánchez, Y., Rojas-Ortega, G., Esquivel-Martín, E., Arrieta-Sancho, A., Vargas-Solano, J. & Villalobos-Chacón, L. (2022). Estructura vegetal y flora asociada del manglar de Mata de Limón, Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Cien. Mar. Cos.*, 14(1), 51-64. <https://doi.org/10.15359/revmar.14-1.3>
- Holguín, G. & Bashan, Y. (2007). La importancia de los manglares y su microbiología para el sostenimiento de las pesquerías costeras. En R. Ferrera-Cerrato & A. Alacaron (Eds.), *Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta organismo* (pp. 239-253). México: Editorial Trillas.
- Hossain, M. D. & Nuruddin, A. A. (2016). Soil and mangrove: a review. *J. Environ. Sci. Technol.*, 9(2), 198-207. <https://doi.org/10.3923/jest.2016.198.207>
- Huaylinos, W., Quispiúpac, E. & Martínez, N. (2003). Variabilidad fisicoquímica y fisiográfica del ecosistema de manglar

- San Pedro-Vice (Piura-Perú). *Rev. Inst. Investig. Fac. Minas, Metal Cienc. Geogr.* 6(11), 7-19.
- Krom, M. D. & Berner, R. A. (1981). The diagnosis of phosphorus in a nearshore marine sediment. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45(2), 207-216. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(81\)90164-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(81)90164-2)
- Libes, S. (2009). *Introduction to marine biogeochemistry*. (2nd ed.). EE.UU.: Academic Press.
- Lim-Vega, C. A. (2022). *Análisis de comunidades microbianas asociadas a sedimentos de manglar y su relación con las propiedades fisicoquímicas del agua intersticial en dos sistemas de manglar de Puerto San Carlos, BCS*. (Tesis de maestría no publicada). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. México.
- Loza, S., Sánchez, M., Carminate, M. & Siqueiros, D. (2011). Adición a la microflora de diatomeas de las aguas marinas de Cuba. *Serie Oceanológica*, 8, 47-52.
- Méndez, C. & Jiménez, J. (2015). Análisis de la asociación entre la estructura y composición de la comunidad vegetal de manglar, y los parámetros fisicoquímicos del agua en la Bahía La Graciosa, Izabal, Guatemala. *Rev. Cient.*, 25(1), 50-64. <https://doi.org/10.54495/Rev.Cientifica.v25i1.97>
- Mendoza, U. (2007). *Dynamics of phosphorus and sulphur in a mangrove forest in Braganca, North Brazil*. (Tesis de doctorado no publicada). Universidad de Bremen, Alemania.
- 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.
- MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones). (2010). Criterios técnicos para la identificación, clasificación y conservación de humedales. Decreto N.º 35803. (Publicado en *La Gaceta* N.º 73, abril 2010). Costa Rica: Imprenta Nacional. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=67673&nValor3=88177&strTipM=TC
- Moreno-Martínez, A., Álvarez-Arteaga, G. & Orozco-Hernández, M. E. (2021). Heterogeneidad ambiental y alteraciones antrópicas en comunidades de manglar en el pacífico sur de México. *Trop. J. Environ. Sci.*, 55(1), 70-85. <https://doi.org/10.15359/rca.55-1.4>
- Muller, G. (1969). Diagenetic changes in interstitial water of holocene lake constance sediments. *Nature*, 224, 258-259. <https://doi.org/10.1038/224258a0>
- Ongay, C. (2016). *Suelos y productividad primaria en manglares en el sur de Quintana Roo*. (Tesis de licenciatura no publicada). Universidad de Quintana Roo, México.
- Otero, X. L., Ferreira, T. O., Huerta-Díaz, M. A., Partiti, C. S. D. M., Souza Jr., V., Vidal-Torradó, P. & Macías, F. (2009). Geochemistry of iron and manganese in soils and sediments of a mangrove system, Island of Pai Matos (Canaieira-SP, Brazil). *Geoderma*, 148(3-4), 318-335. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.10.016>
- Ramírez-Lozada, D. & Rojas-Villamil, N. (2020). *Influencia de la comunidad bacteriana en los ciclos biogeoquímicos del carbono y el nitrógeno en el ecosistema de manglar*. (Tesis de

- licenciatura no publicada). Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Colombia.
- Rammanatha, A. L., Singh, G., Majumdar, J., Samal, A. C., Chauhan, R., Kumar, R., Rajkumar, R. & Santra, S. C. (2008). A study of microbial diversity and its interaction with nutrients in the sediments of Sundabarn mangroves. *Ind. J. Mar. Sci.*, 37(2), 159- 165.
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D. & Clesceri, L. S. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. EE.UU.: Water Environment Federation.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Universidad de Medellín: Ediciones de la U. <http://hdl.handle.net/11407/2568>
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). (2018). *Plan general de manejo de la zona protectora Tivives 2018-2028*. Costa Rica. Sin editorial.
- Statgraphics Centurion. (2007). Statgraphics Centurion XV®. Version 10. <https://www.statgraphics.com/> EE. UU.: StatPoint, Inc.
- Strickland, J. D. H. & Parsons, T. R. (1972). A Practical Handbook of Seawater Analysis. *Bull. Fish. Res. Board. Can.* 167. 2nd edn. <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1791>
- Tam, N. F. Y. & Wong, Y. S. (1998). Variations of soil nutrient and organic matter content in a subtropical mangrove ecosystem. *Water Air Soil Pollut.*, 103, 245-261. <https://doi.org/10.1023/A:1004925700931>
- Tenorio, S. E. R. & Timaná, D. L. (2017). *Ecosistema manglares de San Pedro, Vice-Piura: Variación estacional en su cobertura, características fisiográficas y componentes fisicoquímicos. Noviembre 2014 - octubre 2015*. (Tesis de licenciatura no publicada). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú.
- Wang, H., Qi, Z., Zheng, P. Jiang, C. & Diao, X. (2022). Abundant and rare microbiota assembly and driving factors between mangrove and intertidal mudflats. *Appl. Soil Ecol.*, 210, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104438>

Segregation by size in the mouthless crab *Cardisoma crassum* (Brachyura: Gecarcinidae) from Ponuga, Veraguas, Panama

Segregación por talla en el cangrejo sin boca, *Cardisoma crassum* (Brachyura: Gecarcinidae) en Ponuga, Veraguas, Panamá

Roberto C. Lombardo González^{1*} & Leidys M. Cedeño Pinto¹



ABSTRACT

The mouthless crab *Cardisoma crassum* is an important socioeconomic fishery resource; thus, understanding its distribution pattern is key for its fishery management. The present study aimed to determine if mouthless crabs show segregation by size in contrasting habitat types. Three plots were sampled from February to June 2022 to collect data on biometric variables in Ponuga, Veraguas, Panama Pacific. A total of 151 crabs with average cephalothorax width of 56.24 ± 8.56 mm were captured; 97 were male and 54 were female. This proportion difference was significantly skewed towards males at 1.8:1. Subjects from plot 1 were larger and heavier than those from plots 2 and 3. Ovigerous females were found only in plots 1 and 2 during June (rainy season). The minimum cephalothorax width of functionally mature females was 47.11 mm. By this measure, mature females were present in higher proportions in all plots and were significantly more abundant in plot 1. Small crabs were segregated in plot 3; the plot of origin and size were significantly associated. This is the first report of segregation by size in *Cardisoma crassum*. The findings highlight the importance of habitat features and lead the way for further studies on the factors influencing this distribution pattern.

Keywords: Brachyuran, burrow, biometry, functional maturity, carapace



RESUMEN

El cangrejo sin boca, *Cardisoma crassum*, es un recurso pesquero de importancia socioeconómica, por lo que comprender su patrón de distribución es clave para su

1 Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas. Centro de Capacitación, Investigación y Monitoreo de la Biodiversidad en el Parque Nacional Coiba. roberto.lombardo@up.ac.pa* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0279-8621> leidys.cedeno@up.ac.pa ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9657-0248>

manejo. El propósito de esta investigación fue establecer si los cangrejos presentan segregación por talla en hábitats contrastantes. Se muestrearon tres parcelas de febrero a junio de 2022 para recolectar datos de variables biométricas en Ponuga, Veraguas, Panamá Pacífico. Se capturaron 151 cangrejos con ancho de cefalotórax promedio de 56.24 ± 8.56 mm; 97 machos y 54 hembras, con proporción sesgada hacia los machos (1.8:1). Los cangrejos en la parcela 1 alcanzaron mayor talla y peso que los de las parcelas 2 y 3. Se encontraron hembras ovígeras solo en las parcelas 1 y 2, durante junio (época de lluvias). El ancho mínimo del cefalotórax de las hembras, funcionalmente maduras, fue 47.11 mm. Según esta medida, las hembras maduras estuvieron presentes en proporciones más altas en todas las parcelas y fueron más abundantes en la parcela 1. Los cangrejos pequeños se segregaron en la parcela 3; la parcela de origen y talla estuvieron asociadas significativamente. Este es el primer reporte de segregación por tamaño y etapa de vida en *Cardisoma crassum*. Los hallazgos resaltan la importancia de las características del hábitat y abren el camino para más investigaciones sobre las causas de este patrón de distribución.

Palabras clave: Braquiuro, madriguera, biometría, madurez funcional, carapacho

INTRODUCTION

The mouthless crab (*Cardisoma crassum* Smith, 1870) is a common inhabitant of mangrove systems in the Panamanian Pacific, ranging from Espiritu Santo Island in Baja California (Mexico) to San Pedro de Vice in Piura, Peru (Hendrickx, 1995; Alemán & Ordinola, 2017; Lombardo & Rojas, 2022). Although *C. crassum* is an important fishery resource for coastal human settlements in Panama (Vega *et al.* 2018), little effort has been made to determine its distribution patterns and understand the factors affecting it. This is especially important because mouthless crabs can favor or restrict specific plant species recruitment through herbivory (Vargas-Téllez & Vázquez-López, 2020; Alemán

& Ordinola, 2017), as well as play a critical role in the structure of mangrove forests (Smith, 1987; Smith *et al.* 1989; Wolcott & O'Connor, 1992; Lindquist *et al.* 2009).

Vegetative structure has repeatedly been associated to crab distribution and protection from predators in a variety of systems (Nomann & Pennings, 1998; Ngo-Massou *et al.* 2014). Furthermore, the distribution of the ocypodid and the grapsid crabs seems to be influenced by vegetation, substratum type, nutrients, salinity, tidal exposure, and the occurrence of other species (Nobbs, 2003; Arruda *et al.* 2006; Cannicci *et al.* 2018; Novais *et al.* 2021). These factors can produce segregation patterns of spatio-temporal nature, by sex and size, as in *Carcinus maenas* (Almeida *et al.* 2008),

Neohelice granulata (Casariego *et al.* 2011), *Ocypode gaudichaudii* (Yong & Lim, 2022) and *Cardisoma guanhummi* (Carmona-Suárez & Guerra-Castro, 2018).

Preliminary observations of a *C. crassum* population in Panama suggests that large and small individuals occupy different places in high mangrove areas. Large crabs were seen in open understory areas under shade from tall trees, while smaller crabs were observed under dense woody liana thickets without shade from trees (R. Lombardo, personal observation). We hypothesize that the distribution of crabs may be sufficiently segregated for size differences to be detected between discrete habitat types. Two studies have anecdotally reported the association between certain plant species and the concentrated presence of *C. crassum* burrows (Vera, 2012; Alemán *et al.* 2018); however, research confirming segregation by size and the factors influencing such patterns are lacking. Therefore, the goal of this study was to determine if such size differences between discrete habitat types exist in *C. crassum*.

MATERIALS AND METHODS

Study site: The present study was conducted between February and June 2022 at a site located along the Ponuga River in Veraguas, Panama (07° 51'

51.3756'' N, -081° 00' 52.6248'' W), where plants grow on sediment plains of alluvial origin and settled riverbeds (Intituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, 1988; Lombardo & Rojas, 2022). February and March were dry months, with a monthly average of 14 days of precipitation, reaching 118.9 mm of rain. Heavy rains went from April to June, averaging 27.8 days of rain per month and 553.4 mm of precipitation, with a peak of 781.5 mm in June (ETESA, 2022).

Plot features: From February to June, crab biometrics was recorded for four days at the end of each month. Three plots were determined within the study site; the first plot (1.724 m²) was characterized by canopy-forming trees, composed of black mangrove (*Avicennia germinans*) and Cativo trees (*Prioria copaifera*), while ferns (*Acrostichum aureum*) and lilies (*Hymenocallis littoralis*) sparsely populated the undergrowth (Fig. 1A). The substrate in this plot consisted of a stable mix of mud and fine sand. The second plot (428 m²) was characterized by thorny undergrowth (Fig. 1B), dominated by Cañabrava (*Bactris major*), under the shade of Cativo trees and white mangrove (*Laguncularia racemosa*). This plot was located next to a natural shallow (~ 30 cm) drainage channel, and the substrate contained pebbles and gravel within the mud matrix. The third plot (591 m²) consisted

of exposed thicket-forming shrubs, 2 to 3 m tall with dense exposed roots of the woody liana *Dalbergia brownii* (Fig. 1C). The substrate in plot 3 was stable but consisted of a softer mix of clay, silt, and decaying leaf litter. Continuity of habitat characteristics in each plot ensured that all crabs were under the relative effect of the same ecological factors within their plots, regardless of plot area size. This is the case provided crabs are faithful to their burrows (Lombardo & Rojas, 2022) and, as generalists, they remain within small home ranges (Stachowicz & Hay, 1999). The plot and total study site area was calculated using ArcGIS 10.7.1. (ArcGIS, 2019).

Sampling procedure: Traps were deployed after visual confirmation of *C. crassum* presence or signs of burrow occupation within plots such as, fresh mud, droppings and/or plant remnants on the burrow opening. When a burrow matched these characteristics, the tunnel diameter beyond the opening (BD) was calculated as the distance between the needles of a compass. To collect crabs without injuring or damaging the burrow, a wooden handcrafted trap was set up. Bait type and trap success are not associated (Lombardo & Rojas, 2022); thus, each trap was baited with yuca (*Manihot esculenta*) throughout the study. Traps were placed at the entrance of a burrow for 24 hours and inspected hourly from 6:15 a.m. to 5:00 p.m.; they were

left baited after 5:00 p.m. for the night. If unsuccessful, they were moved to another burrow the following morning. During field work, plots were visited multiple times; thus, in subsequent visits, previously inactive or blocked burrows found with activity signs were subject to trap deployment.

Crab data collection began *in situ* including the date and time of capture; crabs were then inspected to ascertain the sex by the abdomen shape (Hendrickx, 1995) and the reproductive status of females (ovigerous or not, Fig. 1D). Chi-square tests were used to compare the sex ratios for each plot. A digital Vernier caliper (0.1 mm) was used to measure the major chelae height (ChH), carapace length (CL), carapace width (CW), and third propodus length (P3). To avoid resampling, individuals received a number mark with fast drying white enamel paint and a coat of varnish. Individual weight (TW) was recorded using a scale once the paint dried (0.01 g). Processed crabs were then returned to their original burrow, which was likewise labeled with the matching ID number.

Biometry: Descriptive statistics were collected for all subjects, and differences in biometry between sexes were investigated using Student's t-test. A general lineal model was fitted using biometric variables as responses, and individual sex, plot of origin and their interaction as

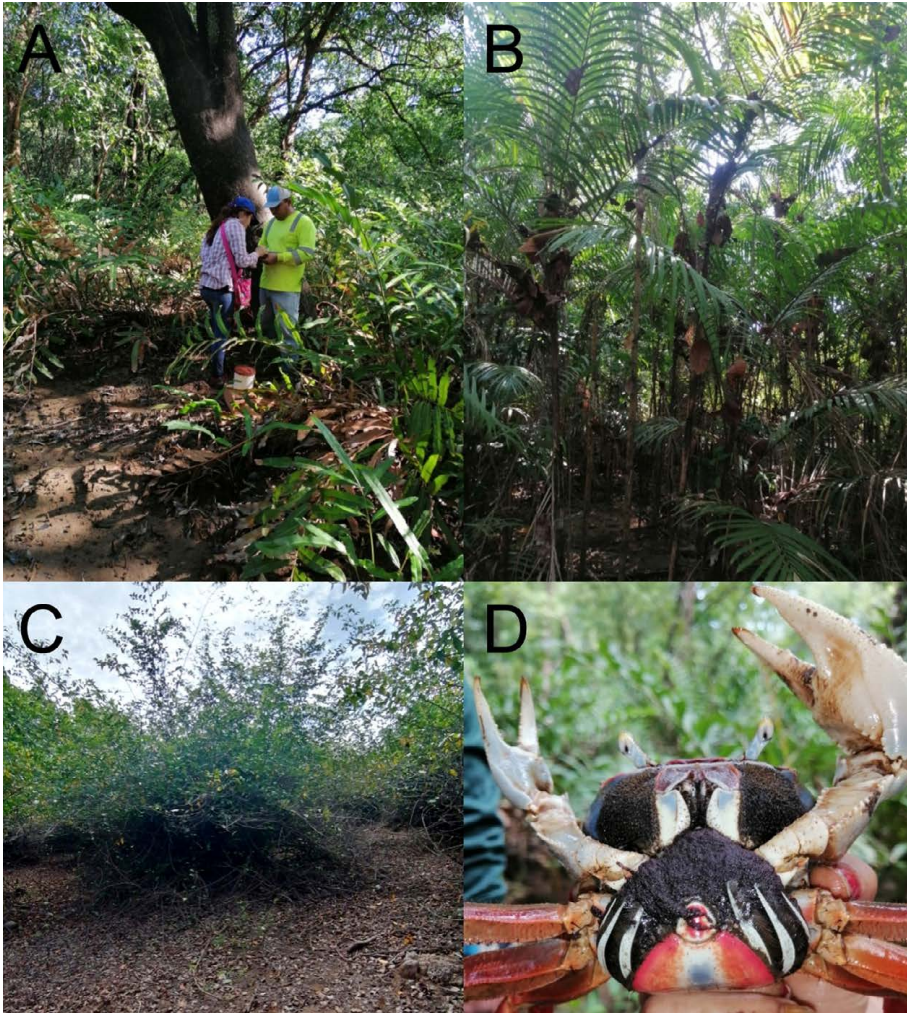


Fig. 1. Plot features and life history stage of *Cardisoma crassum* in Ponuga, Veraguas, Panama. A: plot 1 with canopy-forming trees and sparse undergrowth, B: plot 2 with thorny undergrowth under the shade of canopy-forming trees, C: low-level zone of plot 3 with exposed thicket-forming shrubs, D: ovate female captured in June (rainy season)

Fig. 1. Parcelas de muestreo y etapa de la historia de vida de *Cardisoma crassum* en Ponuga, Veraguas, Panamá. A: parcela 1 con dosel, formado por árboles y maleza escasa, B: parcela 2 con sotobosque espinoso, bajo la sombra de árboles formadores de dosel, C: zona de bajo nivel de la parcela 3, con arbustos formadores de matorrales expuestos, D: hembra ovada capturada en junio (temporada de lluvias)

factors to compare plots. Tukey pairwise comparisons were executed with 95% confidence level for all biometric variables. Plots were compared by sex using Welch's ANOVA provided variances of biometric variables (Bonett's method) between plots were different. In addition, pairs were contrasted using the Games-Howell simultaneous test to find differences between means (Games & Howell, 1976).

To compute the ratio of potentially mature females within plots, the size of the smallest egg-carrying female (functionally mature) was used as critical value to categorize them as mature or immature for plot comparison. The methods used in this study were meant to have the least negative impact possible; therefore, as there was no means to determine the gonad maturation stage in males without sacrificing them, the group was excluded from the analysis.

Burrow density by plot: Three 100 m²-quadrants, one for each plot, were established to obtain indirect crab density estimates. As the rainy season is correlated with an increase in the *C. crassum* activity (Lombardo & Rojas, 2022), a monthly record of the number of active, inactive and blocked burrows was kept during heavy rain months (April to June). This allowed for the detection of changes in the activity pattern and comparison of burrow status between plots (Chi-square test).

RESULTS

A total of 151 mouthless crabs were captured, of which 97 were male and 54 were female. This proportion difference was significantly skewed towards males at 1.8:1 ($c^2 = 12.25$, $d.f. = 1$, $P < 0.001$). The CW of crabs averaged 56.24 ± 8.56 mm (22.74-74.95 mm); descriptive statistics of biometric variables are contained in Table 1. Male and female CW averaged 55.34 ± 9.38 mm and 57.84 ± 6.61 mm, respectively. Female CL was larger and significantly different than that of the males ($t = -2.14$, $d.f. = 149$, $P = 0.034$); no difference was detected in the rest of the variables between the sexes.

Plot biometry: In plot 1, a total of 74 (46 male and 28 female) mouthless crabs were captured, where male and female CW averaged 59.75 ± 8.69 mm and 60.79 ± 6.78 mm, respectively. The biometric variable comparison between sexes within plot 1 showed ChH to be the only variable with a difference: the male ChH was larger. The sex ratio was significantly skewed towards males at 1.6:1 ($c^2 = 4.38$, $d.f. = 1$, $P = 0.036$). In plot 2, a total of 36 (23 males and 13 females) crabs were captured; male and female CW averaged 51.72 ± 9.97 mm and 53.76 ± 3.56 mm, respectively. No significant differences were found between

Table 1. *Cardisoma crassum* biometric variable summary from the Ponuga River, Veraguas, Panama. CW: carapace width, CL: carapace length, ChH: chela height, P3: third propodal length, TW: total weight, BD: burrow diameter. Variables are in mm; weight (g)

Tabla 1. Variables biométricas de *Cardisoma crassum* del río Ponuga, Veraguas, Panamá. CW: ancho del carapacho, CL: longitud del carapacho, ChH: altura de la quela, P3: longitud del tercer propodio, PT: peso total, BD: diámetro de la madriguera. Las variables se presentan en mm, excepto el peso (g)

Variable	N	Mean	SD	Min.	Max.
CW	151	56.24	8.55	22.74	74.95
CL	151	45.96	7.13	19.09	60.28
ChH	151	32.53	14.69	9.54	79.82
P3	151	16.86	2.97	6.23	25.49
TW	151	95.70	43.47	22.86	212.83
BD	151	61.86	12.81	38.50	99.80

the sexes among biometric variables from plot 2. The sex ratio was not significantly different from 1:1. In contrast, plot 3 totaled 41 individuals (28 males and 13 females), where male and female CW averaged 51.07 ± 6.53 mm and 55.57 ± 5.70 mm, respectively. A significant biometric difference was found between the sexes in plot 3, where females were larger than males in CW, CL, ChH, TW, and BD; however, there was no difference in P3 between the sexes (Table 2). Plot 3 showed a heavily skewed male sex ratio of 2.2:1 ($c^2 = 4.38$, $d.f. = 1$, $P = 0.036$).

Through the general lineal model, a significant difference was detected between the three plots for CW,

P3, TW, and BD, while ChH showed the same pattern but, in contrast, the interaction between plot and sex was also significant. Furthermore, crab CL was significantly different between the plots, and female's CL was significantly larger than males' (Table 3, Fig. 2). Males from plot 1 were larger than those in plot 2 and 3 for five and six of the biometric variables, respectively. No size difference was detected between males from plots 2 and 3. Females from plot 1 were larger in five out of six variables compared to females of plot 2. Plot 1 females were larger than those from plot 3 in CW, while CL from plot 3 female was larger compared to plot 2 (Table 4).

Table 2. Biometric variables within plots comparison between sexes in *Cardisoma crassum* from Ponuga, Veraguas, Panama. CW: carapace width, CL: carapace length, ChH: chela height, P3: third propodal length, TW: total weight, BD: burrow diameter

Tabla 2. Comparación de variables biométricas en parcelas entre sexos en *Cardisoma crassum* de Ponuga, Veraguas, Panamá. CW: ancho del carapacho, CL: longitud del carapacho, ChH: altura de la quela, P3: longitud del tercer propodio, PT: peso total, BD: diámetro de la madriguera

♂ vs. ♀ Variable	Plot 1			Plot 2			Plot 3		
	<i>t</i>	<i>d.f.</i>	<i>P</i>	<i>t</i>	<i>d.f.</i>	<i>P</i>	<i>t</i>	<i>d.f.</i>	<i>P</i>
CW	0.54	72	0.591	0.71	34	0.485	2.13	39	0.039
CL	0.40	72	0.689	1.20	34	0.237	3.11	39	0.004
ChH	-2.84	71	0.006	1.52	34	0.137	2.64	39	0.012
P3	-0.13	72	0.898	-0.28	33	0.784	0.84	38	0.404
TW	-0.14	68	0.887	0.19	29	0.853	2.30	39	0.027
BD	-0.13	68	0.899	-0.03	31	0.978	2.80	37	0.008

Table 3. Biometrical contrast by plot for six variables in *Cardisoma crassum* from Ponuga, Veraguas, Panama. CW: carapace width, P3: third propodal length, TW: total weight, BD: burrow diameter, ChH: chela height, CL: carapace length
 Tabla 3. Contraste biométrico por parcela para seis variables en *Cardisoma crassum* de Ponuga, Veraguas, Panamá. CW: ancho del carapacho, P3: longitud del tercer propodio, PT: peso total, BD: diámetro de la madriguera, ChH: altura de la quela, CL: longitud del carapacho

Variable	Factor	<i>d.f.</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	Plot comparison	
					<i>t</i>	<i>P</i>
CW	Plot	2-145	15.44	< 0.001	2-1	< 0.001
					3-1	< 0.001
					3-2	0.997
P3	Plot	2-143	9.89	< 0.001	2-1	< 0.001
					3-1	0.007
					3-2	0.420
TW	Plot	2-136	13.33	< 0.001	2-1	0.001
					3-1	< 0.001
					3-2	0.505
BD	Plot	2-136	6.62	0.002	2-1	0.013
					3-1	< 0.001
					3-2	0.725

Variable	Factor	d.f.	F	P	Plot comparison	t	P
ChH	Plot	2-144	10.4	< 0.001	2-1	-3.28	0.004
					3-1	-5.32	< 0.001
					3-2	-1.62	0.240
	Plot*Sex	2-144	7.05	< 0.001			
CL	Plot	2-145	15.29	< 0.001	2-1	-5.35	< 0.001
					3-1	-4.68	< 0.001
					3-2	0.77	0.721
	Sex	1-145	6.30	0.013	♂ - ♀	-2.15	0.033

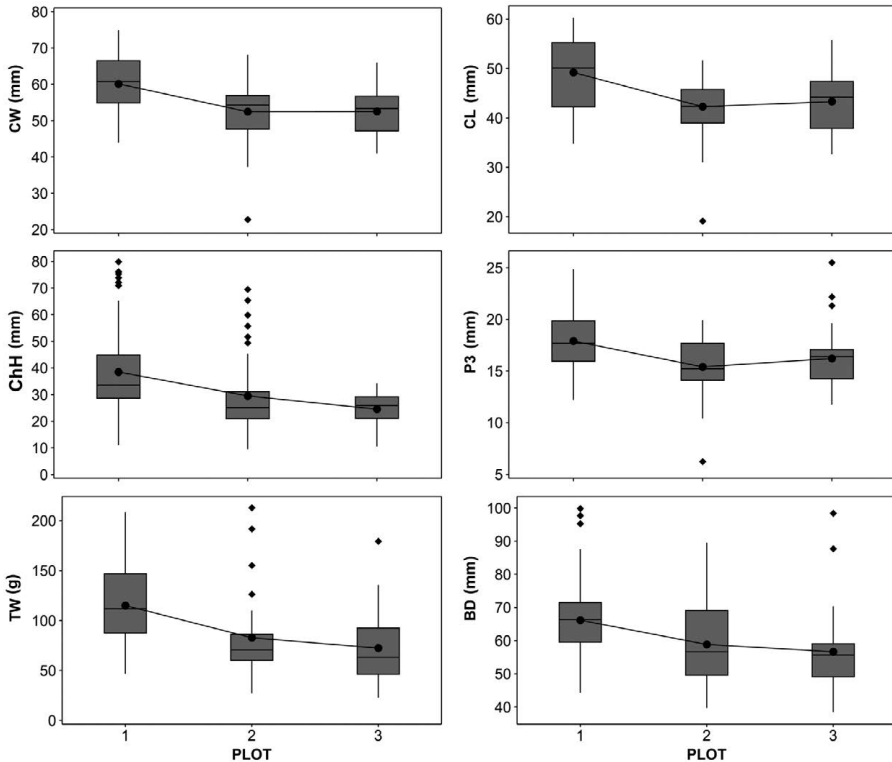


Fig. 2. *Cardisoma crassum* biometric variable between three contrasting plots from Ponuga, Veraguas, Panama. CW: carapace width, CL: carapace length, ChH: chela height, P3: third propodus length, TW: total weight, BD: burrow diameter
 Fig. 2. Variables biométricas de *Cardisoma crassum* entre tres parcelas en Ponuga, Veraguas, Panamá. CW: ancho del carapacho, CL: longitud del carapacho, ChH: altura de la quela, P3: longitud del tercer propodio, TW: peso total, BD: diámetro de la madriguera

Table 4. Plot contrast by sex for six biometric variables in *Cardisoma crassum* from Ponuga, Veraguas, Panama. CW: carapace width, P3: third propodal length, TW: total weight, BD: burrow diameter, ChH: chela height, CL: carapace length. Means and their difference (DF) are given in mm; weight (g). Bold indicates significant difference at $\alpha = 0.05$; ($d.f. = 2$)

Tabla 4. Contraste de parcelas por sexo para seis variables biométricas en *Cardisoma crassum* de Ponuga, Veraguas, Panamá. CW: ancho del caparazón, P3: longitud del tercer propodio, TW: peso total, BD: diámetro de la madriguera, ChH: altura de la chela, CL: longitud del caparazón. Las medias y su diferencia (DF) se dan en mm; peso (g). Negrita indica diferencia significativa, $\alpha = 0,05$; ($d.f. = 2$)

Welch's ANOVA			Games-Howell pairwise comparison		
Variable	F	P	Plot 2 vs. Plot 1	Plot 3 vs. Plot 1	Plot 3 vs. Plot 2
♂ CW	12.95	< 0.001	\`X2 = 51.72; X1 = 59.75 DM = -8.03; t = -3.29; P = 0.006	\`X3 = 51.07; X1 = 59.75 DM = -8.68; t = -4.88; P < 0.001	\`X3 = 51.07; X2 = 51.72 DM = -0.65; t = -0.27; P = 0.961
♀ CW	9.35	0.001	\`X2 = 53.76; X1 = 60.80 DM = -7.04; t = -4.35; P < 0.001	\`X3 = 55.60; X1 = 60.80 DM = -5.22; t = -2.57; P = 0.041	\`X3 = 55.60; X2 = 53.76 DM = 1.82; t = 0.97; P = 0.601
♂ P3	6.01	0.005	\`X2 = 15.50; X1 = 17.93 DM = -2.43; t = -2.99; P = 0.013	\`X3 = 15.95; X1 = 17.93 DM = -1.98; t = -2.67; P = 0.027	\`X3 = 15.95; X2 = 15.50 DM = 0.45; t = 0.49; P = 0.876
♀ P3	5.59	0.010	\`X2 = 15.22; X1 = 17.85 DM = -2.63; t = -3.36; P = 0.007	\`X3 = 16.76; X1 = 17.85 DM = -1.09; t = -1.51; P = 0.303	\`X3 = 16.76; X2 = 15.22 DM = 1.54; t = 1.76; P = 0.206
♂ TW	17.28	< 0.001	\`X2 = 81.88; X1 = 115.68 DM = -33.8; t = -3.14; P = 0.008	\`X3 = 64.59; X1 = 115.68 DM = -51.09; t = -5.92; P < 0.001	\`X3 = 64.59; X2 = 81.88 DM = -17.29; t = -1.82; P = 0.176
♀ TW	18.06	< 0.001	\`X2 = 68.95; X1 = 114.22 DM = -45.27; t = -6.04; P < 0.001	\`X3 = 89.10; X1 = 114.22 DM = -25.10; t = -1.89; P = 0.168	\`X3 = 89.10; X2 = 68.95 DM = 20.15; t = 1.66; P = 0.254
♂ BD	11.23	< 0.001	\`X2 = 58.90; X1 = 66.33 DM = -7.43; t = -2.02; P = 0.121	\`X3 = 53.22; X1 = 66.33 DM = -13.11; t = -4.76; P < 0.001	\`X3 = 53.22; X2 = 58.90 DM = -5.68; t = -1.70; P = 0.221
♀ BD	10.16	0.001	\`X2 = 56.21; X1 = 67.59 DM = -11.38; t = -4.25; P = 0.002	\`X3 = 60.62; X1 = 67.59 DM = -6.97; t = -2.10; P = 0.128	\`X3 = 60.62; X2 = 56.21 DM = 4.41; t = 1.08; P = 0.536
♂ ChH	24.56	< 0.001	\`X2 = 26.74; X1 = 42.39 DM = -15.65; t = -4.09; P < 0.001	\`X3 = 22.96; X1 = 42.39 DM = -19.43; t = -7.06; P < 0.001	\`X3 = 22.96; X2 = 26.74 DM = -3.78; t = -1.20; P = 0.464

Welch's ANOVA		Games-Howell pairwise comparison			
Variable	F	P	Plot 2 vs. Plot 1	Plot 3 vs. Plot 1	Plot 3 vs. Plot 2
♀ ChH	2.44	0.107	X2 = 34.45; X1 = 32.25 DM = 2.20; t = 0.45; P = 0.894	X3 = 27.96; X1 = 32.25 DM = -4.29; t = -1.83; P = 0.176	X3 = 27.96; X2 = 34.45 DM = -6.49; t = -1.45; P = 0.343
♂ CL	15.46	< 0.001	X2 = 41.40; X1 = 48.96 DM = -7.56; t = -4.24; P < 0.001	X3 = 41.59; X1 = 48.96 DM = -7.36; t = -5.11; P < 0.001	X3 = 41.59; X2 = 41.40 DM = 0.19; t = 0.11; P = 0.993
♀ CL	7.98	0.002	X2 = 43.86; X1 = 49.63 DM = -5.77; t = -3.66; P = 0.002	X3 = 47.94; X1 = 49.63 DM = -1.69; t = -1.00; P = 0.581	X3 = 47.94; X2 = 43.86 DM = 4.08; t = 2.91; P = 0.021

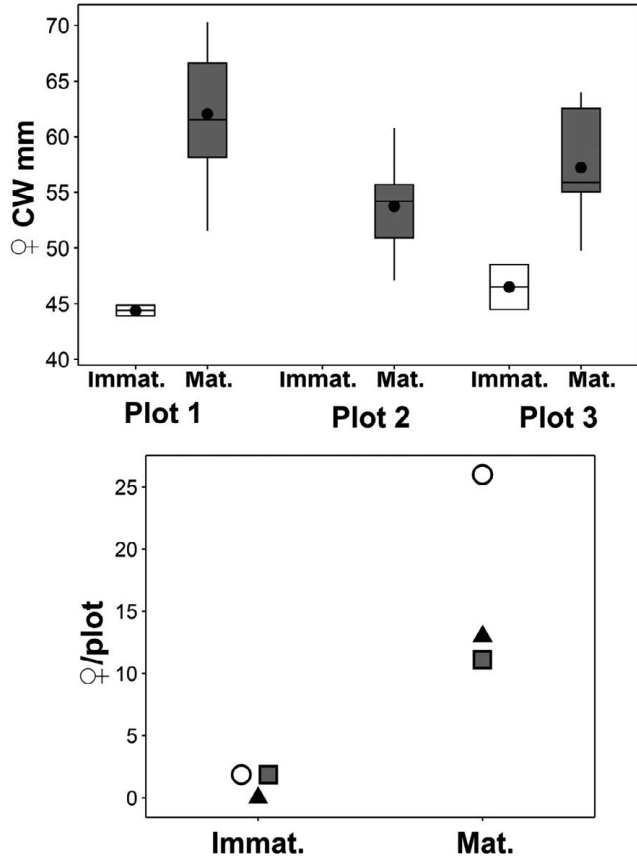


Fig. 3. Size (left) and number (right) of immature and mature *Cardisoma crassum* females within three plots from Ponuga, Veraguas, Panama. CW: carapace width, the gray boxes correspond to mature individuals, while the empty boxes represent immature crab. Circles, squares, and triangles represent counts in plots 1, 2 and 3, respectively
Fig. 3. Talla (izq.) y número (der.) de hembras inmaduras y maduras de *Cardisoma crassum* en tres parcelas en Ponuga, Veraguas, Panamá. CW: ancho de carapacho, cajas grises corresponden a individuos maduros, mientras que las vacías representan cangrejos inmaduros. Círculos, cuadrados y triángulos representan número de hembras en parcelas 1, 2 y 3, respectivamente

Table 5. *Cardisoma crassum* burrow counts comparison (Chi-square *d.f.* = 2) in three 100 m² plots with contrasting vegetation and habitat characteristics during rainy season in Ponuga, Veraguas, Panama

Tabla 5. Recuentos comparativos de madrigueras de *Cardisoma crassum* (Chi-cuadrado *g.l.* = 2) en tres parcelas de 100 m² con características contrastantes de vegetación y hábitat durante la temporada de lluvias en Ponuga, Veraguas, Panamá

Status	Month	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Expected	<i>n</i>	<i>c</i> ²	<i>P</i>
Active	April	38	33	42	37.67	113	1.08	0.583
	May	41	40	58	46.33	139	4.42	0.110
	June	48	44	56	49.33	148	1.51	0.469
Inactive	April	7	9	6	7.33	22	0.64	0.727
	May	4	1	0	1.66	5	5.2	0.074
	June	0	1	2	1	3	2	0.368
Blocked	April	4	5	14	7.66	23	7.91	0.019
	May	5	6	3	4.66	14	1	0.607
	June	3	4	5	4	12	0.5	0.779

Ovigerous females were found only in plots 1 and 2 during June (rainy season); their average CW was 57.98 ± 10.17 (47.11-66.69 mm, N = 4). Using the CW of the smallest ovigerous female (47.11 mm) as a critical value to classify females into mature or immature, the proportion of functionally mature females in plots 1, 2, and 3 reached 93%, 100%, and 85%, respectively. There was a difference in the number of potentially mature females between plots, where plot 1 had more functionally mature females ($c^2 = 7.96$, *d.f.* = 2, *P* = 0.019; Fig. 3).

Burrow density by plot: Active burrow average density in plot 1 was 0.42 burrows/m², while plots 2 and 3 had 0.39 and 0.52 burrows/m²,

respectively. Comparison of monthly active burrow counts resulted in no differences between plots. This pattern was repeated for inactive burrows, while blocked burrow counts between plots showed a significant difference only in April; plot 3 had a higher blocked burrow count (Table 5).

DISCUSSION

Brachyuran male crabs tend to be larger and heavier than females (Hartnoll *et al.* 2009), as in *C. armatum* (Etchian *et al.* 2016), *C. guanhumii* (Hernández-Maldonado & Campos, 2015; Moraes-Costa & Schwamborn, 2018; Govender, 2019), *Gecarcinus ruricola* (Hartnoll *et al.* 2007) and

Johngarthia lagostoma (Hartnoll *et al.* 2009). This trend is consistent with *C. crassum* according to reports by Vega *et al.* (2018), Zambrano & Olivares (2020), and Lombardo & Rojas (2022). However, in this study, only males from plot 1 had larger ChH and females in plot 3 were overall larger than males, especially the CL. In brachyuran crabs, the egg mass is attached to the abdomen's pleopods; thus, protection and facilitation of egg hatching are among the key functions of the female abdomen. Consequently, with the start of sexual maturity, changes occur throughout the allometric development of this structure (Hartnoll, 1974). The sexual dimorphism of the abdomen is due to changes in the function of male and female pleopods; consequently, the CL is predicted to be larger in female crabs (Hartnoll, 1974; Mclay, 2015). This might be the reason behind significant biometric differences within plot 3, where 85% of the females were mature, and consequently, larger and heavier than males.

Furthermore, the sex and plot interaction term for ChH might have been significant due to asymmetry in male chela size (Zambrano & Olivares, 2020), especially as the contrast between individuals of plots 1 and 3 was high, suggesting segregation by size. Burrow diameter difference between plots also suggests segregation by size as there were no burrows corresponding to large males in this plot. Even if

larger males moved, the long-standing nature of burrows (>40 days after vacancy) would have allowed their sampling, but this was not the case.

The distribution pattern observed might be influenced by the habitat features of plots; for instance, the shade-temperature relationship is important for crab survival (Nomann & Pennings, 1998; Nobbs, 2003), given that increased dehydration levels lead to reduced mobility and food intake in gecarcinid and fiddler crabs (McGaw *et al.* 2019; da Silva Vianna *et al.* 2020). However, shade alone might not account for the observed segregation pattern, as it was common to all plots. Moreover, burrowing activity patterns of *C. crassum* approximated by burrow counts did not vary between plots, except for blocked burrows in plot 3. This suggests that distribution and activity are relatively dependent on the same limiting factors across habitat types, but specific habitat features may also be important. For example, crabs in plot 3 were smaller and lived under the shade of woody liana thicket, among complex root systems, in a low-elevation area along the Ponuga river shore. Small crabs in this habitat may have access to softer substratum and shallow ground water, which is critical (Nobbs, 2003; Ngo-Massou *et al.* 2014; McGaw *et al.* 2019). In contrast, larger crabs, including mature females, were found in plot 1, where the ground is higher. Such physical factors

may limit the distribution of juveniles as shown in a closely related species, *C. guanhumi* (Novais *et al.* 2021).

Mortality by predation is another important factor shaping crab distribution (Koga *et al.* 2001; Christy, 2007; Casariego *et al.* 2011). Although it was not the focus of our study, differential mortality may be a contributing factor to the observed pattern in Ponuga, considering vegetation acts primarily as refugia from predators (Nomann & Pennings, 1998). Habitat complexity, conferred by vegetation cover in plots 2 and 3, may provide protection against predators due to reduced access (Almeida *et al.* 2008). Benefits from the protective role of vegetation cover in plot 1 are less obvious, provided that the undergrowth is sparse and may not present the same challenge for potential predators as the vegetation in plots 2 or 3; however, burrow fidelity in this species (Lombardo & Rojas, 2022) might offset potential costs (Moraes-Costa & Schwamborn, 2018; Nuñez *et al.* 2018).

Male biased sex ratios, as seen in the current study, appear to be the norm for crab species (Wenner, 1972); however, variation in size and sex ratios may be explained by extraction effects, unequal growth, variable maximum sizes, and lifespan (Wenner, 1972; Diele *et al.* 2005; Ewers-Saucedo, 2019). It is difficult to quantify the relative importance of each component in our scenario; nonetheless, sex ratio

shifts are known to occur monthly in *C. guanhumi* (Shinozaki-Mendes *et al.* 2013), and seasonally in *Cardisoma armatum*, where the sex ratio during breeding season is affected by migratory movements (Etchian *et al.* 2016). Plot 2 in the present study showed no departure from the 1:1 sex ratio, while the remaining plots were male biased, suggesting small-scale sex ratio variation might be possible in this species.

CONCLUSION

Segregation by size in discrete habitat types was detected in *C. crassum*. Males showed strong segregation of large sizes towards plot 1, while female sizes were more evenly distributed among plots. Smaller crabs were segregated towards plot 3. Our contribution highlights the need for more studies about the factors driving distribution patterns and draw attention to the importance of habitat complexity and physical factors, especially early in crab life.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Edwin Cedeño, Arquímedes Cedeño, Alexander Franco, and Kevin Cedeño for their assistance during field work, as well as the anonymous reviewers for their comments to improve earlier versions of the manuscript.

REFERENCES

- Alemán, S. & Ordinola, E. (2017). Ampliación de la distribución sur de *Ucides occidentalis* (Decapoda: Ucidiidae) y *Cardisoma crassum* (Decapoda: Gecarcinidae). *Rev. Peru. Biol.*, 24(1), 107-110. <https://doi.org/10.15381/rpb.v24i1.13110>
- Alemán, S., Cisneros, P., Ordinola, E., Vera, M. & Montero, P. (2018). Algunas características biológico-poblacionales del cangrejo sin boca *Cardisoma crassum* (Crustacea: Gecarcinidae) en los manglares de Tumbes, Perú. *Boletín Inst. Mar Perú*, 33(1), 43-52.
- Almeida, M. J., Flores, A. A. V. & Queiroga, H. (2008). Effect of crab size and habitat type on the locomotory activity of juvenile shore crabs, *Carcinus maenas*. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 80(4), 509-516. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.006>
- ArcGIS. (2019). Geographic information system software. Environmental Systems Research Institute (Esri). Version 10.7.1. <https://www.arcgis.com/index.html>
- Arruda, L. E., Braga, C., Ximenes, G. & Matthews-Cascon, H. (2006). Spatial distribution of fiddler crabs (genus *Uca*) in a tropical mangrove of northeast Brazil. *Sci. Mar.*, 70(4), 759-766. <https://doi.org/10.3989/scimar.2006.70n4759>
- Cannicci, S., Fusi, M., Cimó, F., Dahdouh-Guebas, F. & Fratini, S. (2018). Interference competition as a key determinant for spatial distribution of mangrove crabs. *BMC Ecol.*, 18(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12898-018-0164-1>
- Carmona-Suárez, C. A. & Guerra-Castro, E. J. (2018). Populations of *Cardisoma guanhumii* Latreille in Latreille, le Peletier, Serville & Guérin, 1828 (Decapoda: Brachyura: Gecarcinidae) in mangrove forests and coastal grasslands in Venezuela. *J. Crustac. Biol.*, 38(6), 739-747. <https://doi.org/10.1093/jcobiol/ruy074>
- Casariago, A., Alberti, J., Luppi, T., Daleo, P. & Iribarne, O. (2011). Habitat shifts and spatial distribution of the intertidal crab *Neohelice (Chasmagnathus) granulata* Dana. *J. Sea Res.*, 66(2), 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2011.05.001>
- Christy, J. H. (2007). Predation and the reproductive behavior of fiddler crabs (Genus *Uca*). In J. E. Duffy & M. Thiel (Eds.), *Evolutionary ecology of social and sexual systems: Crustaceans as model organisms* (pp. 211-231). New York, USA: Oxford University Press.
- da Silva Vianna, B., Miyai, C. A., Augusto, A. & Costa, T. M. (2020). Effects of temperature increase on the physiology and behavior of fiddler crabs. *Physiol. Behav.*, 215, 112765. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.112765>
- Diele, K., Koch, V. & Saint-Paul, U. (2005). Population structure, catch composition and CPUE of the artisanally harvested mangrove crab *Ucides cordatus* (Ocypodidae) in the Caeté estuary, North Brazil: Indications for overfishing? *Aquat. Living Resour.*, 18(2), 169-178. <https://doi.org/10.1051/alr:2005018>
- ETESA. (Empresa de Transmisión Eléctrica). (2022). Datos climáticos históricos. <https://www.hidromet.com.pa/es/clima-historicos>
- Etchian, O. A., Dakouri, R., Ble, C. M., Lawal-Are, A. O. & Cuesta, J. A. (2016). Some ecological aspects of the gecarcinid land crab, *Cardisoma armatum* Herklots, 1851 (Crustacea, Brachyura, Gecarcinidae) from the estuarine region of the Comoe River, Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10(2),

- 457-474. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i2.1>
- Ewers-Saucedo, C. (2019). Evaluating reasons for biased sex ratios in Crustacea. *Invertebr. Reprod. Dev.*, 63(3), 222-230. <https://doi.org/10.1080/07924259.2019.1588792>
- Games, P. A. & Howell, J. F. (1976). Pairwise multiple comparison procedures with unequal N's and/or variances: A Monte Carlo study. *J. Educ. Stat.*, 1(2), 113-125. <https://doi.org/10.3102/10769986001002113>
- Govender, Y. (2019). Long-term monitoring of crab *Cardisoma guanhumí* (Decapoda: Gecarcinidae) captures in Jobos Bay estuary, Puerto Rico. *Rev. Biol. Trop.*, 67(4), 879-887. <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i4.35124>
- Hartnoll, R. G. (1974). Variation in growth pattern between some secondary sexual characters in crabs (Decapoda Brachyura). *Crustaceana*, 27(2), 131-136. <https://doi.org/10.1163/156854074X00334>
- Hartnoll, R. G., Baine, M. S. P., Britton, A., Grandas, Y., James, J., Velasco, A. & Richmond, M. G. (2007). Reproduction of the black land crab, *Gecarcinus ruricola*, in the San Andres Archipelago, Western Caribbean. *J. Crustac. Biol.*, 27(3), 425-436. <https://doi.org/10.1651/s-2772.1>
- Hartnoll, R. G., Broderick, A. C., Godley, B. J. & Saunders, K. E. (2009). Population structure of the land crab *Johngarthia lagostoma* on Ascension Island. *J. Crustac. Biol.*, 29(1), 57-61. <http://doi.org/10.1651/08-2992.1>
- Hendrickx, M. E. (1995). Cangrejos. In W. Fischer, F. Krupp, W. 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. Plantas e invertebrados* (Vol. 1, pp. 565-630). Rome, Italy: FAO.
- Hernández-Maldonado, A. & Campos, N. H. C. (2015). Estado actual de la población adulta del cangrejo semiterrestre *Cardisoma guanhumí* (Latreille) en la isla de San Andrés, Caribe Colombiano. *Bol. Investig. Mar. Cost.*, 44(1), 185-198. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemmar.2015.44.1.26>
- Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. (1988). *Atlas nacional de la República de Panamá* (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (ed.); 3rd ed.). Panama. Universidad de Panamá.
- Koga, T., Backwell, P. R. Y., Christy, J. H., Murai, M. & Kasuya, E. (2001). Male-biased predation of a fiddler crab. *Anim. Behav.*, 62(2), 201-207. <https://doi.org/10.1006/anbe.2001.1740>
- Lindquist, E. S., Krauss, K. W., Green, P. T., O'Dowd, D. J., Sherman, P. M. & Smith, T. J. (2009). Land crabs as key drivers in tropical coastal forest recruitment. *Biol. Rev.*, 84(2), 203-223. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.2008.00070.x>
- Lombardo, R. C. & Rojas, M. (2022). Burrow fidelity in the blue crab, *Cardisoma crassum* Smith, 1870 (Brachyura: Gecarcinidae) from the Ponuga River, Veraguas, Panama. *Nauplius*, 30, e2022033. <https://doi.org/10.1590/2358-2936e2022033>
- McGaw, I. J., Van Leeuwen, T. E., Trehern, R. H. & Bates, A. E. (2019). Changes in precipitation may alter food preference in an ecosystem engineer, the black land crab, *Gecarcinus ruricola*. *PeerJ*, 2019(5), 1-28. <https://doi.org/10.7717/peerj.6818>
- Mclay, C. (2015). Moulting and growth in Brachyura. In P. Castro, P. Davie, G. D., F. Schram, & C. von Vaupel (Eds.), *Treatise on Zoology - Anatomy, Taxonomy, Biology. The Crustacea* (pp.

- 245-316). Brill. Netherlands. https://doi.org/10.1163/9789004190832_007
- Moraes-Costa, D. & Schwamborn, R. (2018). Site fidelity and population structure of blue land crabs (*Cardisoma guanhumi* Latreille, 1825) in a restricted-access mangrove area, analyzed using PIT tags. *Helgol. Mar. Res.*, 72(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s10152-017-0504-0>
- Ngo-Massou, V. M., Essomè-Koum, G. L., Kottè-Mapoko, E. & Din, N. (2014). Biology and distribution of mangrove crabs in the Wouri River Estuary, Douala, Cameroon. *J. Water Resour. Prot.*, 6(4), 236-248. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2014.64029>
- Nobbs, M. (2003). Effects of vegetation differ among three species of fiddler crabs (*Uca* spp.). *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, 284(1-2), 41-50. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(02\)00488-4](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(02)00488-4)
- Nomann, B. E. & Pennings, S. C. (1998). Fiddler crab-vegetation interactions in hypersaline habitats. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, 225(1), 53-68. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(97\)00209-8](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(97)00209-8)
- Novais, W. R. R., Carvalho, F. L. & Couto, E. C. G. (2021). Conservation of the endangered blue land crab *Cardisoma guanhumi* Latreille in Latreille, Le Peletier, Serville & Guérin, 1828 (Decapoda: Brachyura: Gecarcinidae) in Brazil: Optimal habitats and environmental factors. *J. Crustac. Biol.*, 41(2), 1-12. <https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruab011>
- Núñez, J. D., Ribeiro, P. D., Ocampo, E. H. & Luppi, T. A. (2018). *Neohelice granulata* burrow fidelity behaviour related to landscape heterogeneity. *Helgol. Mar. Res.*, 72, (17), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s10152-018-0518-2>
- Shinozaki-Mendes, R. A., Silva, J. R. F., Santander-Neto, J. & Hazin, F. H. V. (2013). Reproductive biology of the land crab *Cardisoma guanhumi* (Decapoda: Gecarcinidae) in north-eastern Brazil. *J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom*, 93(3), 761-768.
- Smith, T. J. (1987). Seed predation in relation to tree dominance and distribution in mangrove forests. *Ecology*, 68(2), 266-273. <https://doi.org/10.2307/1939257>
- Smith, T. J., Chang, H. T., McIvor, C. C. & Robblee, M. B. (1989). Comparisons of seed predation in tropical, tidal forests from three continents. *Ecology*, 70(1), 146-151. <https://doi.org/10.2307/1938421>
- Stachowicz, J. J. & Hay, M. (1999). Reduced mobility is associated with compensatory feeding and increased diet breadth of marine crabs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 188(13), 169-178. <https://doi.org/10.3354/meps188169>
- Vargas-Téllez, I. & Vázquez-López, H. (2020). Fecundity of *Cardisoma crassum* Smith, 1870 in an estuary of the Mexican Pacific. *Biol. Cienc. Tecnol.*, 9(35), 632-641. <https://doi.org/10.22201/fesi.20072082.2016.9.75912>
- Vega, Á. J. Mena, C. & Robles, Y. (2018). Pesca artesanal de *Cardisoma crassum* (Cangrejo) y *Ucides occidentalis* (Mangote) en el sector nororiental del Golfo de Montijo, Pacífico de Panamá. *Tecnociencia*, 20(2), 5-22.
- Vera, W. A. (2012). Bases para el manejo del cangrejo azul (*Cardisoma crassum*) en la zona del bajo Borbón, Provincia de Esmeraldas. *Rev. Científica Interdiscip. Investig. Saberes*, 1(1), 43-53.
- Wenner, A. M. (1972). Sex ratio as a function of size in marine Crustacea. *Am. Nat.*, 106(949), 321-350. <https://doi.org/10.1086/282774>
- Wolcott, D. L. & O'Connor, N. J. (1992). Herbivory in crabs: Adaptations and ecological considerations. *Integr. Comp.*

Biol., 32(3), 370-381. <https://doi.org/10.1093/icb/32.3.370>

Yong, A. Y. P. & Lim, S. S. L. (2022). Coexistence of juvenile with adult *Ocypode gaudichaudii* at Culebra Beach, Panama: A temporal-spatial partitioning compromise. *Zool. Stud.*, 61(8), 13. <https://doi.org/10.6620/ZS.2022.61-08>

Zambrano, R. & Olivares, S. (2020). Alometría y madurez sexual morfológica de *Cardisoma crassum* (Decapoda: Gecarcinidae) en la costa continental norte de Ecuador. *Geomare Zool.*, 2(2), 25-33.

First record of *Mysidopsis gemina* Price, Heard & Vargas, 2019 (Crustacea, Peracarida, Mysida, Mysidae) on the west coast of Mexico

Primer registro de *Mysidopsis gemina* Price, Heard & Vargas, 2019 (Crustacea, Peracarida, Mysida, Mysidae) en la costa oeste de México

José Carlos Hernández-Payán^{1,2*} & Michel E. Hendrickx²



ABSTRACT

Mysidopsis gemina Price, Heard & Vargas, 2019, a species of mysid shrimp recorded for Pacific Costa Rica, was collected in western Mexico on October 19th, 2022, at the entrance of the Gulf of California. This is the first record north of Costa Rica and it represents a distribution range extension to the north of approximately 13 degrees of latitude. A comparison of the diagnostic morphological features of the Costa Rican and Mexican specimens is given.

Keywords: Mysidae, sandy beach, East Pacific, Gulf of California, new record.



RESUMEN

Mysidopsis gemina Price, Heard & Vargas, 2019, una especie de camarón misidáceo registrada para el Pacífico de Costa Rica, fue recolectada en el occidente de México, el 19 de octubre de 2022, en la entrada del golfo de California. Este es el primer registro al norte de Costa Rica y representa una extensión del intervalo de distribución hacia el norte de unos 13 grados de latitud. Se proporciona una comparación entre los caracteres morfológicos diagnósticos del material de Costa Rica y de México.

Palabras clave: Mysidae, playa de arena, Pacífico Oriental, golfo de California, nuevo registro.

- 1 Postgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, Coyoacán 04510, Ciudad de México, México. michel@ola.icmyl.unam.mx; jose_carlos_11@hotmail.com* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1483-1289>
- 2 Unidad Académica Mazatlán, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, A. P. 811, Mazatlán, Sinaloa, 82000, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9187-6080>

INTRODUCTION

Eastern Pacific mysid shrimp, also known as opossum shrimp, is poorly known south of California, and many species are known from a single locality or from a reduced area (Price, 2004; Hernández-Payán & Hendrickx, 2020). In the case of western Costa Rica, according to Price *et al.* (2019) only four species of Mysidae had been reported until 2019. Based on samples collected in 2010 and 2012 in two locations on the Pacific coast of northern Costa Rica (Puntarenas and Guanacaste), Price *et al.* (2019) described a new species of the genus *Mysidopsis*, *M. gemina* Price, Heard & Vargas, 2019. This species was recently collected during sampling operations along a sandy beach in western Mexico, representing the first record outside of Costa Rica, thus extending considerably its distribution range in the eastern Pacific.

MATERIALS AND METHODS

Samples were collected in the surf zone of a sandy beach on October 19th, 2022 with a small zooplankton net (mesh aperture 0.5 mm), preserved in a 70% ethanol solution and analyzed in the laboratory. Mature specimens of *M. gemina* were separated from the rest of the samples, examined for details, and illustrated using a Nikon

SMZ-10A and Leica MZ6 dissecting microscope, and a Leica DM LS2 compound microscope equipped with a camera lucida. Illustrations were compared with the original description by Price *et al.* (2019). CL, carapace length. Material was deposited in the Regional Collection of Marine Invertebrates (CRIM), Unidad Académica Mazatlán, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, in Mazatlán, Mexico (ICML-EMU).

RESULTS

Order Mysida Haworth, 1825

Family Mysidae Haworth, 1825

Subfamily Leptomysinae Czerniavsky, 1882

Tribe Mysidopsini Wittmann, Ariana & Lagardère, 2014

Genus *Mysidopsis* G. O. Sars, 1864

Mysidopsis gemina Price, Heard & Vargas, 2019

(Figures 1, 2)

Mysidopsis gemina Price *et al.* 2019:2, Figs. 1-3.

Material examined. Isla de la Piedra (23° 18' N, 106° 41' W), Mazatlán, Mexico, Oct 19, 2022, 1 male (CL 1.62 mm, TL 4.86 mm) and 1 female (CL 1.76 mm, TL 5.28 mm), about 1 m depth (ICML-EMU-13457).

Comments. The specimens collected in the Mazatlán area fit well with the original description provided

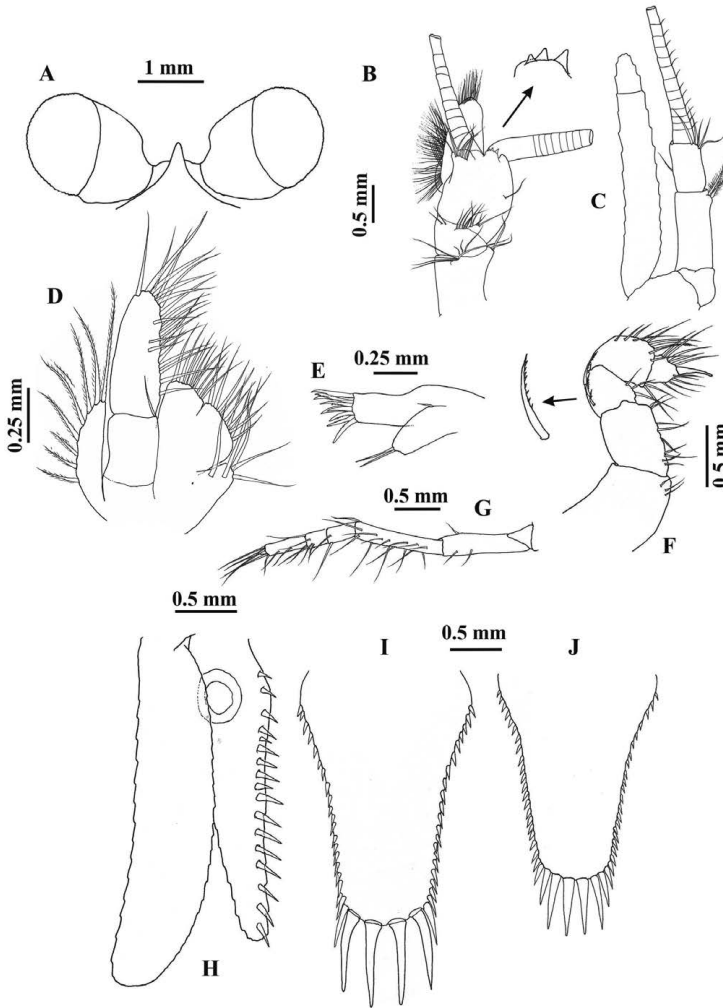


Fig. 1. *Mysidopsis gemina* Price, Heard & Vargas, 2019 (ICML-EMU-13457). A-I, K, male (CL 1.62 mm, TL 4.86 mm). J, female (CL 1.76 mm, TL 5.28 mm). A, frontal part of cephalothorax in dorsal view; B, antennular peduncle; C, antennal peduncle and scale; D, maxilla; E, maxillule; F, thoracic endopod 1; G, thoracic endopod 8; H, uropods in dorsal view; I, telson in dorsal view; J, telson in dorsal view. Scales as indicated

Fig. 1. *Mysidopsis gemina* Price, Heard & Vargas, 2019 (ICML-EMU-13457). A-I, K, macho (LC 1,62 mm, LT 4.86 mm). J, hembra (LC 1,76 mm, LT 5.28 mm). A, parte frontal del cefalotórax en vista dorsal; B, pedúnculo antenular; C, pedúnculo antenal y escala; D, maxila; E, maxilula; F, endópodo torácico 1; G, endópodo torácica 8; H, urópodos en vista dorsal; I, telson en vista dorsal; J, telson en vista dorsal. Escalas indicadas

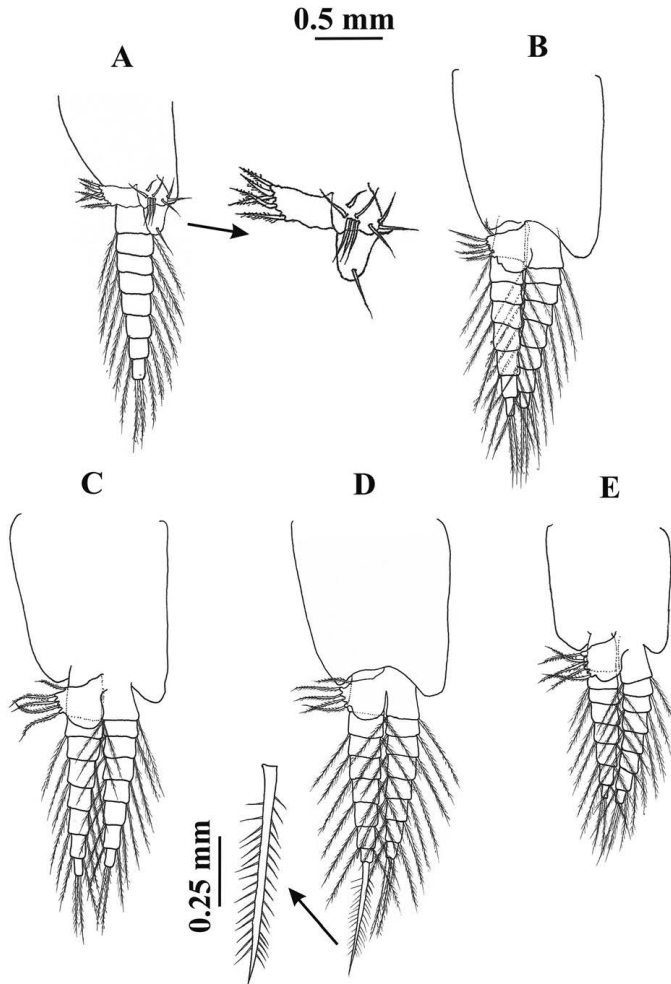


Fig. 2. *Mysidopsis gemina* Price, Heard & Vargas, 2019 (ICML-EMU-13457). Male (CL 1.62 mm, TL 4.86 mm). A, Pleopod 1, endopod enlarged (arrow). B, pleopod 2. C, pleopod 3. D, pleopod 4, exopod terminal seta enlarged (arrow). E, pleopod 5. Scale as indicated

Fig. 2. *Mysidopsis gemina* Price, Heard & Vargas, 2019 (ICML-EMU-13457). Macho (LC 1.62 mm, LT 4.86 mm). A, pleópodo 1, endópodo magnificado (flecha). B, pleópodo 2. C, pleópodo 3. D, pleópodo 4, seta terminal del exópodo magnificada (flecha). E, pleópodo 5. Escala indicada

by Price *et al.* (2019). Diagnostic characters of *M. gemina*, as defined in the original description, were illustrated (Figs. 1, 2) to corroborate identification. Details are provided below for each of these characters.

- 1) Cephalothorax in dorsal view. Basically, similar to the illustration of Price *et al.* (2019: Fig. 1A). The carapace has an anterior margin produced into an acutely pointed triangular rostrum (Fig. 1A); cornea is large, globular and broader than eye-stalk (Fig. 1A).
- 2) Antennular peduncle (Fig. 1B). It matches the description of Price *et al.* (2019: Fig. 1B): shorter than the antennal scale, 3 articles, article 1 subequal in length to article 3, and article 2 shorter than the other two. The male appendix masculina is also large and densely setose, as in the original description. Price *et al.* (2019) referred that the distal border of the peduncle possesses a dorso-medial lobe bearing two tooth-like processes; however, in the material examined there are 3 tooth-like, conical processes (Fig. 1B, arrow).
- 3) Antennal peduncle and scale (Fig. 1C). Proportion of peduncle and scale lengths are similar to the description of Price *et al.* (2009: Fig. 1C). The antennal scale is slender, lanceolated, extending well beyond the antennal peduncle, with the outer margin slightly concave, suture present on the distal edge.
- 4) Maxilla (Fig. 1D). The shape and proportions are similar to that reported by Price *et al.* (2019: Fig. 1G). The exopod is relatively narrow, with 8 plumose setae; the endopod is 2-articulated, the distal article is oval, with the 3 submarginal setae considerably longer than those described by Price *et al.* (2019: Fig. 1G), and the proximal article features a simple seta on the distal margin, as illustrated by Price *et al.* (2019: Fig. 1G); the sympod consists of 3 endites (Fig. 1D).
- 5) Maxillule (Fig. 1E). The form of this appendage and the number of setae matches the description of *M. gemina* (Price *et al.* 2019: Fig. 1F), including the 9 strong serrate setae on the outer lobe apex, and the inner lobe with two apical setae and one medial, short setae on outer margin.
- 6) Thoracic endopod 1 (Fig. 1F). The size, relative length of articles, and shape of the thoracic endopod 1 are similar to the original description by Price *et al.* (2019: Fig. 2A). This appendage is short

and robust, as typical for the genus, ischium and merus are fused and equivalent to 2 x the carpus length, carpus with three serrate setae along the outer margin; the propodus is bent inward, with several simple setae and one serrate seta on the inner distolateral margin; the dactylus bears one strong, curved, terminal seta.

- 7) Thoracic endopods 3-8. The shape and size of thoracopod 8 (Fig. 1G) match the diagnosis of Price *et al.* (2019: Fig. 3A). The carpopropodus of thoracic endopods 3-7 (not illustrated herein) are 3-articulated, as in Price *et al.* (2019: Figs. 2C-G).
- 8) Uropods (Fig. 1H). Proportion and size of both the uropodal exopod and endopod are similar to what was illustrated by Price *et al.* (2019: Fig. 3I), with the exopod slightly longer than the endopod. The number (17) and robustness (strong) of the spine-like setae in the endopod inner margin is similar to the original description, and the series extends from the statocyst level to the apex of the endopod, as in the original description.
- 9) Telson (Fig. 1I, J). Price *et al.* (2019) reported a marked sexual dimorphism in the diagnostic characters. In both cases (male and female), the telson is short, wide, linguiform, and features a rounded to truncated apex. In the case of the female, the lateral margins present 17-20 short, robust setae increasing in length towards the tip, and the apex bears two pairs of subequal, long, stout spiniform setae (Price *et al.* 2019: Fig. 3G), all of these characters being similar to the Mexican material (Fig. 1I). The male telson in the original description possesses 20-23 short spiniform setae increasing in length towards the apex; the apex has three pairs of fairly stout spiniform setae (Price *et al.* 2019: Fig. 3H), and this is again similar to the Mexican material (Fig. 1J).
- 10) Pleopods of male (Fig. 2A-E) well developed. Pleopod 1 of the Mexican material (Fig. 2A) shares the 2-articulated endopod observed by Price *et al.* 2019 (Fig. 3D, E); the first article bears a rectangular pseudobranchial lobe with 5 setulose setae (as in the type), and a series of 9 simple setae (vs. 7-10 in the type material) on the anterior face; the second article is oval, with a long, simple terminal seta, as in the type. Pleopods 2-5 (Fig. 2B-E) are biramous, with endopod and exopod 8-articulated as in the original description (Price *et al.* 2019, Fig. 3F); the pseudobranchial lobes are well devel-

oped, larger than the pseudo-branchia of pleopod 1, and bear 5 setulose setae each as in the type. Exopod of pleopod 4 of the type is described as bearing a long (equivalent to the length of the 4-5 terminal articles of the exopod), apical, spiniform seta, barbed on one margin (Price *et al.* 2019: 3F). This clearly matches the Mexican specimen (Fig. 2D), also bearing a proportionally similar spiniform seta, except it is barbed on both margins.

Distribution. From the type locality, Playa Caldera (09° 92' 75" N 84° 71' 64" W), Puntarenas, Costa Rica, to Isla de la Piedra (23° 18" N, 106° 41" W), Mazatlán, Mexico. The lack of records between Costa Rica and Mexico is most likely due to lack of samplings combined with little attention paid to these small, "shrimp-like" organisms. Further sampling will certainly demonstrate that *M. gemina* is a well distributed, shallow-water species in the region.

Habitat. The material from Costa Rica was collected from sandy beaches in depths of 0.5 to 1.0 m. The Mexican material was collected in the surf zone of a sandy beach, in about 1.0 m depth.

Final Remarks. According to Price *et al.* (2019: Table 2), three distinctive characters are found separately or in combination in nine species of *Mysidopsis*, setting these apart from

the other 42 nominal species of the genus: sexually dimorphic telson (4 species); male pleopod 1 with biarticulated endopod (6 species); and enlarged pseudobranchial lobes (pseudopodia) (5 species). Of these species, only *M. gemina* possesses these three characters (Price *et al.* 2019: Figs. 3G, H, D-F) which were also observed in the Mexican material (Figs. 1I, J, 2A-E).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank José Salgado-Barragán and Karl Edward Velázquez-Ornelas for their help in collecting the specimens.

REFERENCES

- Hernández-Payán, J. C. & Hendrickx, M. E. (2020). Revaluación de la fauna de Lophogastrida y Mysida (Crustacea: Peracarida) del Pacífico mexicano. *Geomare Zool.*, 2(3), 49-59.
- Price, W. W. (2004). An annotated checklist for the order Mysida (Crustacea: Malacostraca: Peracarida) from the Pacific coasts of the Americas (Alaska to Chile). In M. E. Hendrickx, (Ed.), *Contributions to the study of East Pacific Crustaceans*, 3 (pp. 53-77). Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Price, W. W., Heard, R. W. & Vargas, R. (2019). *Mysidopsis gemina* n. sp. (Crustacea: Mysida: Mysidae) from the northern Pacific coast of Costa Rica. *Nauplius*, 27, 1-12. <https://doi.org/10.1590/2358-2936e2019016>

Macrofauna bentónica asociada a raíces de *Rhizophora mangle* en la Ciénaga de La Palmita, Sistema de Maracaibo, Venezuela

Benthic macrofauna associated with roots of *Rhizophora mangle* in the Ciénaga de La Palmita, Maracaibo System, Venezuela

Luis Lárez-Rodríguez^{1*}, Mario Nava-Ferrer¹, Jinel Mendoza-Luzardo¹,
Nancy Hernández-Pulgar² y Lilibeth Cabrera-Salas²



RESUMEN

Las raíces inmersas de mangle rojo constituyen un sustrato donde se crían y alimentan variedad de invertebrados, siendo uno de los ecosistemas tropicales más productivos. Con el objetivo de estudiar la macrofauna bentónica adherida a raíces de *Rhizophora mangle* en la Ciénaga de La Palmita, se muestrearon 8 estaciones en mayo de 2018, extrayendo 2 raíces en cada estación, introduciéndolas en bolsas plásticas y fijándolas con formalina al 10%. Se midió temperatura, profundidad, salinidad y transparencia del agua. En el laboratorio se hizo un lavado y raspado superficial a cada raíz, reteniendo los invertebrados en un tamiz de 425 μm , preservándolos en alcohol al 70%. Los especímenes se cuantificaron e identificaron mediante claves taxonómicas. Se cuantificaron 27 014 individuos, identificando 3 Phyla; Arthropoda, Annelida y Mollusca, distribuidas en 6 clases, 13 órdenes, 19 familias y 20 especies. Los crustáceos representaron el 93.6% de la composición, seguido de los anélidos (3.3%), los moluscos (1.6%), y hexápodos (1.5%). La riqueza total fue 20 especies. El índice de constancia arrojó 14 especies constantes, 3 accesorias y 3 accidentales. El índice de Shannon-Wiener varió, encontrando mayor diversidad en la estación 4 ($H' = 2.01$). El cirripedo *Balanus amphitrite* fue la especie dominante, seguida del tanaidáceo *Sinelobus stanfordi* y el anfípodo *Americorophium* sp., especies estuarinas, adaptadas a zonas tropicales. Los parámetros fisicoquímicos indican que se trata de un ambiente de poca fluctuación y baja salinidad, donde confluyen especies marinas y especies

- 1 Laboratorio de Ecología General, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia, Maracaibo 4004, Venezuela. leojamdro@gmail.com*, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2412-8514>; mariolesternava@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4885-8052>; jinelmendoza@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0550-4246>
- 2 Laboratorio de Zoología de Invertebrados, Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia, Maracaibo 4004, Venezuela. nayte86@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2078-7088>; [cabrerallibeth@gmail.com](mailto:cabreralilibeth@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9459-3630>

estuarinas, presentando baja proporción y riqueza de moluscos y alta proporción y abundancia de crustáceos.

Palabras clave: Ciénaga de La Palmita, diversidad, estuario, invertebrados, mangle rojo



ABSTRACT

The immersed roots of red mangrove constitute a substrate where a variety of invertebrates breed and feed, being one of the most productive tropical ecosystems. With the objective of studying the benthic macrofauna attached to *Rhizophora mangle* roots in the Ciénaga de La Palmita, 8 stations were sampled in May 2018; the two roots extracted from each station were placed in plastic bags and fixed with 10% formalin. Water temperature, depth, salinity, and transparency were measured. In the laboratory, each root was washed and scraped superficially, and the invertebrates were retained in a 425 μm sieve and preserved in 70% alcohol. Specimens were quantified and identified by taxonomic keys. A total of 27,014 individuals were quantified, with three Phyla identified: Arthropoda, Annelida, and Mollusca, distributed in six classes, 13 orders, 19 families, and 20 species. Crustaceans represented 93.6% of the composition, followed by annelids (3.3%), mollusks (1.6 %), and hexapods (1.5%). Total richness was 20 species. The constancy index yielded 14 constant species, 3 accessory and 3 accidental. The Shannon-Wiener index varied, finding greater diversity in station 4 ($H' = 2.01$). The cirripede *Balanus amphitrite* was the dominant species, followed by the tanaidacean *Sinelobus stanfordi* and the amphipod *Americorophium* sp., estuarine species adapted to tropical areas. Physicochemical parameters indicate that this is an environment with little fluctuation and low salinity, where marine species and estuarine species converge, presenting a low proportion and richness of mollusks and a high proportion and abundance of crustaceans.

Keywords: Ciénaga de La Palmita, diversity, estuary, invertebrates, red mangrove

INTRODUCCIÓN

Los manglares son un bioma conformado por árboles con crecimiento exuberante en islas y zonas costeras del trópico, donde una estrecha relación se establece entre el fondo marino y estos árboles, que forman masas vegetales de gran importancia biológica, como refugio para larvas y juveniles de especies marinas

(Mazparrote, 1986). Son uno de los ecosistemas tropicales de mayor productividad, dadas las características paisajísticas o ambientales que conforman en franjas intermareales de estuarios, golfos, atolones, humedales y pantanos, con adaptaciones especiales para tolerar altos niveles de salinidad e inundación. Brindan hábitats para la llegada y establecimiento de especies acuáticas y terrestres, donde se

reproducen, crían, refugian y asientan variedad de invertebrados (FAO, 2007; Ruiz & López, 2014; Acosta-Balbas *et al.* 2014). Las raíces inmersas de *Rhizophora mangle* son un importante sustrato para una amplia comunidad de invertebrados con estructura comunitaria propia, dado que les proveen sitios de criadero a esponjas, peces, foraminíferos, camarones, cangrejos, mejillones, poliquetos, isópodos, copépodos y anfípodos (Márquez & Jiménez, 2002; Molina *et al.* 2017).

Se han estudiado las comunidades de invertebrados asociados al manglar, desde América Central y el Caribe, en México (Ruiz & López, 2014; Lucas & De la Cruz, 2018), Cuba (Lalana *et al.* 1985) y Costa Rica (Castaing *et al.* 1980), hasta América del Sur, en Colombia (Valle, 2007; García Padilla & Palacio, 2008; Quiceno Cuartas & Palacio Baena, 2008; Molina *et al.* 2017) y Venezuela (Morao, 1983; Márquez & Jiménez, 2002; Medina *et al.* 2005; Cedeño *et al.* 2010; Acosta-Balbas *et al.* 2014; Quintero *et al.* 2021). En Venezuela los manglares cubren 673 500 hectáreas sobre una línea costera de alrededor de 3 200 km, y en el estado Zulia ocupan 116 km² (Medina & Barboza, 2006). La Reserva de Fauna Silvestre Ciénaga de La Palmita e Isla de Pájaros, creada en el año 2000 para conservar y proteger estos ecosistemas (República Bolivariana de Venezuela, 2000), hoy día presenta alteraciones

antrópicas que ponen en riesgo su biodiversidad, como la disminución del río Aurare, transformado en un arroyo intermitente, bajos aportes de agua de escorrentía y el aumento de poblaciones en sus alrededores, modificando el paisaje por la deforestación, la caza y el desarrollado actividades agropecuarias (Vera *et al.* 2021).

En la Ciénaga de La Palmita se ha estudiado poco en el campo de la zoología, destacándose un trabajo que describe la ictiofauna (González & Borjas, 2003), y un estudio preliminar donde solo mencionan a los invertebrados más comunes en el área, pero no se reportan todas las especies (Olivares, 1988). Se estima que, en el bosque de manglar del área, existe una macrofauna desconocida, dadas las características ambientales de este ecosistema, sustrato que comúnmente alberga varios grupos de invertebrados que forman una comunidad de importancia ecológica (Márquez & Jiménez, 2002; Quiceno Cuartas & Palacio Baena, 2008; Molina *et al.* 2017), que requiere del manglar como productor primario y base de la cadena trófica. En este sentido, debido a la escasa información publicada sobre comunidades de invertebrados en la zona, el presente estudio tuvo como objetivo estudiar la composición de la macrofauna bentónica asociada a raíces de *R. mangle* en la Ciénaga de La Palmita, Sistema de Maracaibo, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Ciénaga de La Palmita (10° 35' 12"- 10° 38' 23" N y 71° 26' 41"- 71° 31' 15") está ubicada en la costa oriental del lago de Maracaibo, entre los municipios Santa Rita y Miranda del estado Zulia, y dentro del Sistema de Maracaibo se encuentra en la zona del estrecho; es decir, entre la porción más salina representada por el golfo de Venezuela y el lago de Maracaibo como zona menos salina (Rodríguez, 2000). Este humedal incluye costas de manglares, pantanos y lagunas que actúan como ecotono entre la zona de explayamiento del río Aurare y el estrecho del lago de Maracaibo, con una superficie de 100 hectáreas. El clima es tropical seco, la precipitación media anual oscila entre los 400 a 500 mm, registrándose las mayores precipitaciones en mayo y octubre, la evaporación alcanza los 1 400 mm y la temperatura promedio es de 29°C (Aguilera & Riveros, 1993; Lárez *et al.* 2021). La vegetación es mayormente xerofítica, al noreste se encuentra el bosque seco tropical y el bosque de manglar se sitúa en el borde costero y riberas de la ciénaga, formado en su mayoría por *R. mangle* (Vera *et al.* 2010; Vera *et al.* 2021). En cuanto a la hidrografía, el río Aurare posee un flujo intermitente que drena al estrecho directamente, a través de la Ciénaga de La Palmita (Barrios *et al.* 2018).

Diseño del muestreo y procesamiento de muestras

Los muestreos se realizaron en mayo de 2018, durante marea alta, entre las 11:00 y 17:00 horas. Para estudiar la composición de la macrofauna bentónica adherida a las raíces del mangle rojo y determinar si existen variaciones en la distribución de especies por el gradiente ambiental, se establecieron 8 estaciones denominadas E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 y E8, las cuales se distribuyeron de manera equidistante a lo largo de la ensenada La Palmita (zona bordeada por el bosque de mangle rojo). En cada estación se midieron por duplicado, los siguientes parámetros fisicoquímicos del agua: la salinidad (UPS), la temperatura (°C), la profundidad (cm) con una cinta métrica y la transparencia (cm) con un disco de Secchi (Rice *et al.* 2017).

Para el estudio de la macrofauna hicieron recorridos a pie y en bote, siguiendo la línea de la costa en sentido sur-norte (Fig. 1). En cada estación se extrajeron al azar 2 raíces sumergidas de *R. mangle* (vivas y sanas, no afianzadas al sustrato), cortando la raíz con segueta sobre el nivel de línea de marea alta y se introdujo en una bolsa plástica previamente rotulada. Cada muestra se fijó en campo con formalina al 10%, por 48 horas, las bolsas se cerraron con una banda elástica para su traslado al laboratorio (Márquez & Jiménez, 2002).

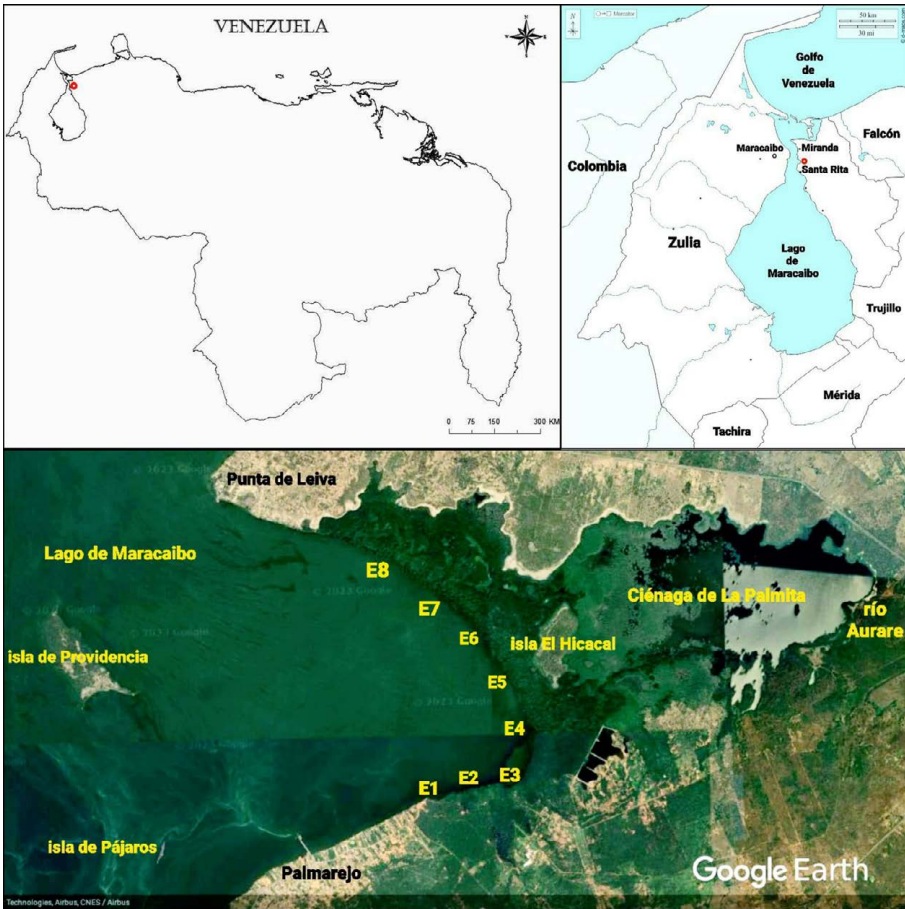


Fig. 1. Área de estudio. Se observa la ubicación relativa nacional, la ubicación relativa regional y ubicación de las estaciones de muestreo (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 y E8) a lo largo de la ensenada La Palmita

Fig. 1. Study area. Observed here are the relative national location, the relative regional location, and the location of the sampling stations (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, and E8) along ensenada La Palmita

Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Ecología General de la Facultad Experimental de Ciencias de la Universidad del Zulia, donde se procedió a realizarle un lavado y raspado superficial a cada raíz, reteniendo los

especímenes en un tamiz de 425 micras (μm), adicionalmente se les hizo un corte longitudinal, donde se evidenció que ninguna muestra presentó perforaciones o cavidades en su interior. Los organismos obtenidos se preservaron

en alcohol etílico al 70%. Finalmente, bajo una lupa estereoscópica binocular, los especímenes se cuantificaron e identificaron hasta el taxón más bajo posible mediante claves taxonómicas (Díaz & Puyana, 1994; Ortiz, 1994; Severeyn & Rodríguez, 2000; LeCroy, 2004; García, 2007; Nava *et al.* 2011; Hiebert, 2015).

Análisis de datos

Se determinó la densidad de los organismos presentes en las raíces, midiendo la longitud (largo) y la circunferencia en 3 alturas distintas de cada raíz (bajo el corte, en el medio y sobre el ápice). Con estos datos se aplicó la siguiente fórmula:

$$SM = L \times \left(\frac{A_1 + A_2 + A_3 \dots A_N}{N} \right)$$

Donde: SM=superficie muestreada, L=longitud de la parte radical muestreada, A=circunferencia de la raíz a determinada altura, N=número de medidas de circunferencias tomadas a distintas alturas. Luego, se calculó un factor de conversión del área a cada raíz, para extrapolar el área muestreada a un 1m². Este factor fue calculado a través de la relación: F=1m²/SM, con los valores de cada factor de conversión y de los números de organismos recolectados en cada raíz se estimó la densidad (Ind./m²), de acuerdo con la fórmula: D=F(n) × N.O. donde: D=Densidad (Ind./m²),

N.O=Número de organismos en cada estación, F(n)=Factor de conversión en cada estación (Ordosgoitti, 1985; Acosta-Balbas *et al.* 2014). Se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis, para observar diferencias significativas entre la densidad de organismos entre estaciones de muestreo.

Adicionalmente se evaluaron los índices ecológicos utilizados en estudios de ecología de comunidades. Para determinar la diversidad se empleó el índice de Shannon-Wiener (H'), para evaluar la equitatividad se utilizó el índice de Equidad de Pielou (J'), la riqueza específica (S) se expresó por el número de especies en cada estación, y la abundancia relativa de estas se calculó por el coeficiente del número de individuos observados de una especie, entre el número total de individuos de todas las especies observadas (N_i/N_t × 100) (Magurran, 1988). Además, se determinó el índice de Constancia de especies, según Krebs (1985) que establece 3 categorías, a) especies constantes (C): las encontradas en más del 50% de ocasiones de muestreo; b) especies accesorias (Acs): las presentes entre el 25 y 49% y c) especies accidentales (Acc): las presentes en menos del 25% de los muestreos. Estos índices se calcularon utilizando el paquete estadístico PAST versión 3.08 (Hammer *et al.* 2001).

RESULTADOS

La salinidad fue constante presentando variaciones mínimas, con 13 UPS en las estaciones 2, 4, 5, 6 y 8, y 14 UPS en las estaciones 1, 3 y 7 (Fig. 2A), en cuanto a la temperatura, especialmente las estaciones situadas a los extremos de la ensenada (2, 3 y 8) presentaron temperaturas relativamente bajas (29°C) a excepción de la estación 1 con una temperatura moderada de 31°C, mientras que las estaciones ubicadas al centro de la ensenada (4, 5, 6 y 7) se mantuvieron altas (33-34°C) (Fig. 2B). La transparencia fue heterogénea, se encontró la mayor transparencia en las estaciones 1 y 2, y las menores en las estaciones 3, 4, y 7 (Fig. 2C). La profundidad osciló entre 75 y 149 cm, la menor profundidad se halló en la estación 1 con 75 cm y, a medida que se ascendía, incrementaba en las siguientes estaciones (2, 3 y 4), manteniéndose un valor similar entre las estaciones 4 y 7, con un leve descenso en la estación 5, para luego descender en la estación 8 (Fig. 2D).

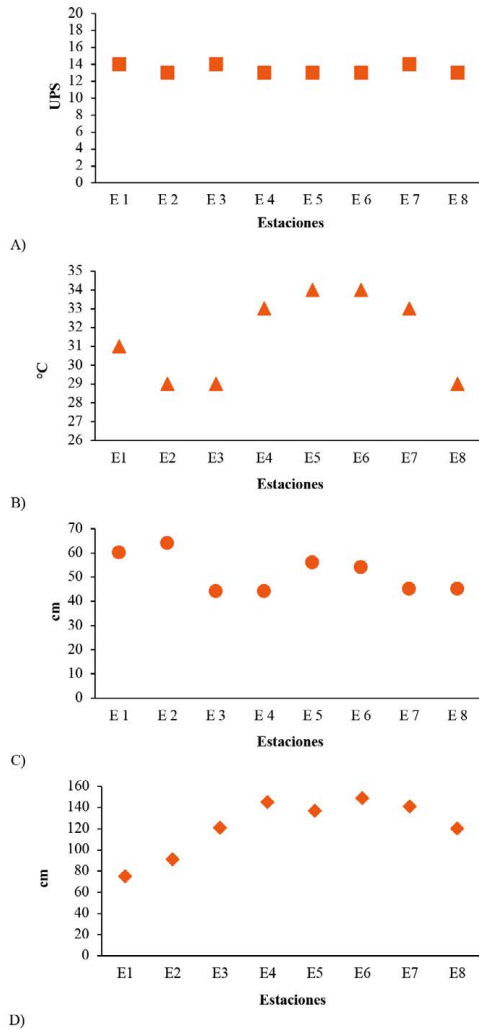


Fig. 2. Valores de las variables fisicoquímicas del agua a lo largo de las 8 estaciones de muestreo en la Ciénaga de La Palmita, Sistema de Maracaibo, Venezuela. A) Salinidad, B) Temperatura, C) Transparencia y D) Profundidad Fig. 2. Values of water physicochemical variables throughout the 8 sampling stations in the Ciénaga de La Palmita, Maracaibo System, Venezuela. A) Salinity, B) Temperature, C) Transparency and D) Depth

En total se procesaron 16 raíces de *R. mangle*, con una longitud mínima de 40.5 cm, máxima de 80 cm y un promedio de 59.4 ± 4.37 cm, y una circunferencia mínima de 4 cm, máxima de 10.3 cm y un promedio de 6.5 ± 1.75 cm, donde se cuantificaron 27 014 organismos pertenecientes a 3 Phyla: Arthropoda, Annelida y Mollusca. Se identificaron 6 clases, 13 órdenes, 19 familias y 20 especies de las cuales 14 se identificaron hasta su

epíteto específico y 6 quedaron en géneros (Cuadro 1). El Subphylum Crustácea fue el grupo más abundante con 25 285 especímenes, representando el 93.6% de la composición de especies, seguido del Phylum Annelida con 891 individuos lo equivalente al 3.3%, el Phylum Mollusca con 423 individuos que corresponden al 1.6%, y el Subphylum Hexapoda con 415 individuos, conformando el 1.5% (Fig. 3A y 3B).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de las especies de macroinvertebrados colectadas en las raíces de *Rhizophora mangle* en la Ciénaga de La Palmita, Sistema de Maracaibo, Venezuela

Table 1. Taxonomic classification of macroinvertebrate species collected from the roots of *Rhizophora mangle* in the Ciénaga de La Palmita, Maracaibo System, Venezuela

Phylum/ sub	Clase	Orden	Familia	Especie
Crustácea	Maxillopoda	Thoracica	Balanidae	<i>Balanus amphitrite</i>
		Malacostraca	Tanaidacea	Tanaididae
	Amphipoda		Corophiidae	<i>Americorophium</i> sp. *
			Amphilochidae	<i>Gitanopsis</i> sp. *
			Aoridae	<i>Grandidierella japonica</i> *
			Isopoda	Cirolanidae
	Sphaeromatidae			<i>Cassidinidea ovalis</i>
	Decapoda		Ligiidae	<i>Ligia</i> sp.
			Ocypodidae	<i>Uca pugilator</i>
		Grapsidae	<i>Aratus pisonii</i>	
Hexápoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Dicrotendipes</i> sp.
Annelida	Polychaeta	Capitellida	Capitellidae	<i>Capitella</i> sp.
		Aciculata	Nereidae	<i>Nereis succinea</i>

Phylum/ sub	Clase	Orden	Familia	Especie	
Mollusca	Bivalvia	Veneroidea	Dressenidae	<i>Mytilopsis</i> sp.	
			Corbiculacea	<i>Polymesoda solida</i>	
		Mytiloidea	Mytilidae	<i>Geukensia demissa</i>	
	Gastropoda	Neritopsina	Neritidae		<i>Mitella maracaiboensis</i>
					<i>Neritina reclinata</i>
		Mesogastropoda	Hydrobiidae	<i>Pyrgophorus platyrachis</i>	
	Caenogastropoda	Thiaridae	<i>Tarebia granifera</i>		

* Nuevos registros para El Sistema de Maracaibo

* New records for El Sistema de Maracaibo

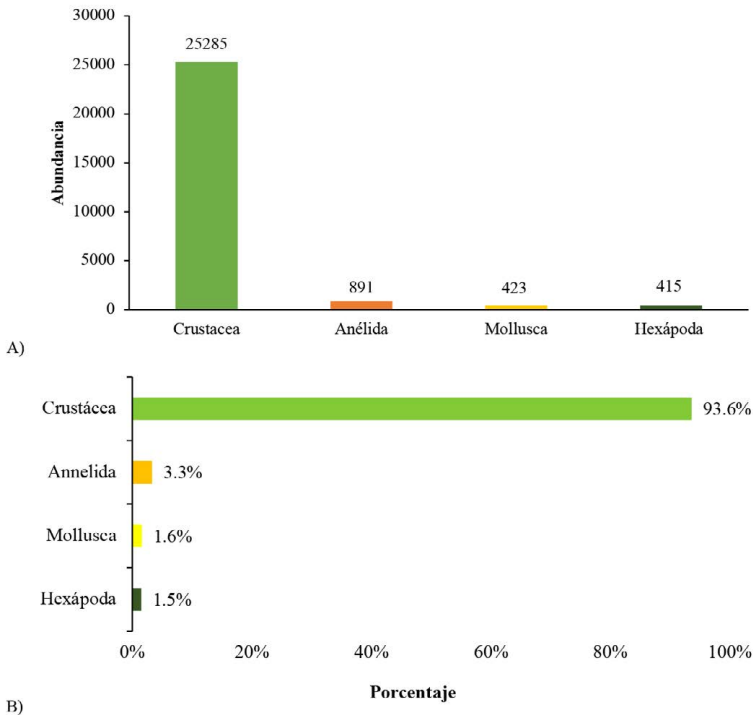


Fig. 3. A) abundancia y B) composición porcentual de los grupos taxonómicos encontrados en raíces inmersas de mangle rojo en la Ciénaga de La Palmita, Sistema de Maracaibo, Venezuela

Fig. 3. A) Abundance and B) percentage composition of the taxonomic groups found in immersed roots of red mangrove in the Ciénaga de La Palmita, Maracaibo System, Venezuela

El cirrípedo *Balanus amphitrite* fue la especie más abundante con un total de 17 988 individuos, seguido del tanaidáceo *Sinelobus stanfordi* con 4 015 individuos, encontrando varias hembras ovadas, al igual que el anfípodo *Americorophium* sp., en tercer lugar; el isópodo *Anopsilana jonesi* que ocupa el cuarto lugar, sigue el poliqueto *Nereis succinea*; el díptero *Dicrotendipes* sp.; el poliqueto *Capitella* sp.; el isópodo *Cassidinidea ovalis*; los anfípodos *Grandidierella japónica* y *Gitanopsis* sp. como novena y décima especies más abundantes respectivamente.

Entre las 10 especies de menor abundancia, se encuentra el bivalvo *Mytilopsis* sp., el cangrejo *Ucapugilator*; el mejillón *Mytella maracaiboensis*; el caracol *Pyrgophorus platyrachis*; el mejillón *Geukensia demissa*; el cangrejo *Aratus pisonii*; los gasterópodos *Neritina reclinata* (la mejor distribuida) y *Tarebia granifera*; el isópodo *Ligia* sp. y la almeja *Polymesoda solida* con tan solo 1 individuo (Cuadro 2). Por otro lado, la estación 4 presentó la mayor abundancia (4 792 ind.), mientras que la más baja correspondió a la estación 7 (2 307 ind.) (Cuadro 2). De acuerdo con el índice de Constancia, 14 especies

fueron constantes, encontrándose más del 50% de las raíces; 3 fueron accesorias, dado que se hallaron entre el 25 y 49%, mientras que 3 fueron raras o accidentales, por encontrarse en menos del 25% (Cuadro 2).

La densidad por estación estuvo comprendida entre 345.2 ind/m² en la estación 7 y 577.9 ind/m² en la estación 4 (460.9 ± 85.34 ind/m²) (Fig. 4). Se encontraron diferencias significativas en la abundancia de invertebrados presentes en las raíces de *R. mangle* entre las estaciones de muestreo (Kruskal-Wallis: $F_s = 11.29$, $P < 0.007$).

La riqueza total fue de 20 especies y la riqueza específica osciló entre 11 especies en la estación 7 y 16 especies en la estación 2. El índice de diversidad de Shannon-Wiener, estuvo comprendido entre $H' = 1.12$ y $H' = 2.01$, la estación 4 mostró el valor más alto de diversidad y los valores más bajos se observaron en las estaciones 2 y 3. La equidad por estación mantuvo una correspondencia con la diversidad; encontrando la mayor equitatividad en la estación 4 y la menor en las estaciones 2 y 3 (Cuadro 3).

Cuadro 2. Número de organismos indicando su distribución, abundancia relativa (AR) e Índice de Constancia (IC) colectados en las 8 estaciones de muestreo en la Ciénaga de La Palmita, Sistema de Maracaibo, Venezuela
 Table 2. Number of organisms and their distribution, relative abundance (AR) and Constancy Index (CI) collected at the 8 sampling stations in the Ciénaga de La Palmita, Maracaibo System, Venezuela

Especies	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	Total	AR %	IC %
<i>Balanus amphitrite</i>	1 756	2 274	3 143	3 000	1 567	2 645	1 708	1 895	17 988	66.59	C 100
<i>Sinobus stanfordi</i>	423	213	635	726	379	569	354	716	4 015	14.86	C 100
<i>Americorophium</i> sp.	3	416	179	392	116	94	47	124	1 371	5.07	C 100
<i>Anopsilana jonesi</i>	137	134	75	144	134	55	35	43	757	2.80	C 100
<i>Nereis succinea</i>	54	74	82	129	50	49	44	49	531	1.96	C 100
<i>Dicortendipes</i> sp.	378	22	0	3	0	1	0	11	415	1.53	C 100
<i>Capitella</i> sp.	0	86	80	95	0	19	29	51	360	1.33	C 75
<i>Cassidinidea ovalis</i>	133	94	33	17	11	47	5	15	355	1.31	C 100
<i>Grandidierella japónica</i>	0	117	11	127	81	1	0	11	348	1.29	C 75
<i>Gitanopsis</i> sp.	4	4	34	54	39	54	29	37	255	0.94	C 100
<i>Mytilopsis</i> sp.	26	20	28	44	13	27	28	49	235	0.87	C 100
<i>Uca pugilator</i>	9	9	14	26	13	59	27	22	179	0.66	C 100
<i>Mitella maracaiboensis</i>	63	9	7	30	9	6	1	6	31	0.48	C 100
<i>Pyrgophorus platyrachis</i>	1	18	0	0	0	0	0	0	19	0.07	Acs 25
<i>Geukensia demissa</i>	13	0	1	0	2	2	0	0	18	0.06	C 50
<i>Aratus pisonii</i>	0	0	2	5	0	7	0	0	14	0.05	Acs 37.5
<i>Neritina reclivata</i>	3	4	0	0	0	3	0	0	10	0.03	Acs 37.5
<i>Tarebia granifera</i>	0	9	0	0	0	0	0	0	9	0.03	Acc 12.5
<i>Ligia</i> sp.	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0.01	Acc 12.5
<i>Polymesoda solida</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.003	Acc 12.5
Total por estación	3 004	3 503	4 327	4 792	2 414	3 638	2 307	3 029	27 014		

C: Constantes, Acs: Accessoria; Acc: Accidental.
 C: Constants, Acs: Accessory; Acc: Accidental.

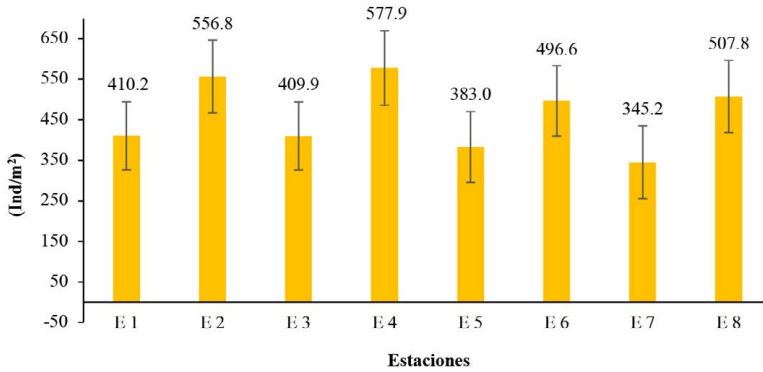


Fig. 4. Variación promedio de las densidades (Ind/m²) por estación con su desviación estándar correspondiente (línea) en raíces de *Rhizophora mangle* de la Ciénaga de La Palmita, Sistema de Maracaibo, Venezuela

Fig. 4. Average variation of densities (Ind/m²) by station with its corresponding standard deviation (line) in roots of *Rhizophora mangle* of Ciénaga de La Palmita, Maracaibo System, Venezuela

Cuadro 3. Valores de los índices ecológicos; riqueza específica (S), diversidad de Shannon-Wiener (H') y equidad de Pielou (J'), por estación en la Ciénaga de La Palmita, Sistema de Maracaibo, Venezuela

Table 3. Values of ecological indices; species richness (S), Shannon-Wiener diversity (H') and Pielou equity (J') by station in the Ciénaga de La Palmita, Maracaibo System, Venezuela

Estación	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8
Riqueza (S)	15	16	15	14	12	15	11	13
Diversidad (H')	1.92	1.12	1.33	2.01	1.89	1.43	1.51	1.70
Equidad (J')	0.70	0.40	0.49	0.76	0.75	0.52	0.62	0.66

DISCUSIÓN

La macrofauna identificada en La Ciénaga de La Palmita se trata de especies habitantes propias de raíces de mangle rojo, y aunque existen variaciones en la composición de ellas, lo encontrado en este ecosistema

zuliano es consistente con lo reportado por otros estudios de invertebrados asociados a la superficie de raíces de *R. mangle* de otras regiones del Caribe que se mencionan a continuación; [García Padilla & Palacio \(2008\)](#) en las bahías Turbo y El Uno, Colombia, reportaron 28 especies, de las cuales 8

coincidieron con las encontradas en nuestro estudio; Ruiz & López (2014) en la laguna costera de La Mancha, México, identificaron 28 especies y 8 de ellas también coinciden con las encontradas en este estudio, Molina *et al.* (2017) en el delta del río Ranchería, Guajira colombiana, identificaron 38 especies, 6 en común con este trabajo que presenta un número de especies (20) menor al descrito en esos trabajos y mayor al referido por Molina (2017), quien reporta 12 especies en un estuario de la Guajira, 5 en común con nuestro estudio.

Los estudios que se mencionan a continuación, sobre macrofauna asociada a la superficie de raíces de mangle rojo en ambientes intermareales marinos de Venezuela, muestran una riqueza mayor en comparación con la Ciénaga de La Palmita, así tenemos a Cedeño *et al.* (2010) que reportaron 61 especies en la laguna de Bocaripo, estado Sucre, y solo 2 coinciden con nuestro estudio; Acosta-Balbas *et al.* (2014) en isla Larga, estado Sucre, identificaron 60 especies de moluscos y ninguna fue coincidente con las observadas en este trabajo, y Quintero *et al.* (2021) encontraron 46 especies de crustáceos en la laguna de Cocinetas, Guajira venezolana, con 2 especies en común respecto al presente trabajo. Estas diferencias probablemente se deban a que esos estudios y las especies que reportan son de ambientes principalmente marinos, en contraste

con el área de estudio, un ambiente intermareal estuarino. La presencia de *B. amphitrite*, *S. stanfordi* y *Americorophium* sp. como especies dominantes, muestra su adaptación a este ambiente y sugiere que los organismos eurihalinos son los principales representantes de la taxocenosis estudiada.

Al comparar la abundancia total que se obtuvo en la Ciénaga de La Palmita (27 014 individuos) con los estudios de Quintero *et al.* (2021) que contabilizaron 6 139 organismos; Cedeño *et al.* (2010) que colectaron una totalidad de 1 465 organismos; Acosta-Balbas *et al.* (2014) que cuantificaron 20 893 organismos y Molina (2017) que cuantificó un total de 1 513 individuos, se evidencia que esta fue elevada, aun considerando que el número de muestras es menor a esos trabajos. En estudios de invertebrados asociados a raíces de mangle rojo es difícil comparar zonas, cuyas áreas de muestreos son diferentes (Acosta-Balbas *et al.* 2014) y es importante considerar que la abundancia varía según las condiciones ambientales existentes en el área y el tamaño de la muestra (Cedeño *et al.* 2010).

El porcentaje de moluscos (1.56%) es menor al encontrado en otros trabajos como el de Cedeño *et al.* (2010), donde conformaron el 74.6% y Molina (2017) encontró un 57.89% de moluscos. Mientras que el porcentaje de crustáceos (93.60%) resultó mayor al descrito por Cedeño *et al.* (2010)

con un 25.4% de crustáceos; en los trabajos de Ruiz & López (2014) y Molina *et al.* (2017) los crustáceos representaron el 42%. Lacerda *et al.* (2001) mencionan a los crustáceos como el grupo de mayor importancia en los manglares, dado que contribuyen en la degradación y transformación de materia orgánica producida por estas plantas.

Resaltando las especies identificadas, tenemos que *B. amphitrite* fue la especie dominante, como mencionan otros estudios (Valle, 2007; García Padilla y Palacio, 2008; Cedeño *et al.* 2010), formando grandes conglomerados en las raíces. En general, los cirrípedos requieren aguas tranquilas para establecerse y se desarrollan mejor en aguas turbias que en claras, debido a su necesidad de alimentarse de materia en suspensión (Romero, 2004), siendo comunes en estuarios donde los niveles de salinidad les favorecen (Rodríguez, 2000). El aumento del nivel de la marea y turbidez durante el muestreo en las estaciones 3 y 4, aunado a la profundidad que se mantiene en esas estaciones, patrón similar al descrito por Cedeño *et al.* (2010), favorece a estos organismos con movilidad restringida, los cuales necesitan del agua circundante para captar oxígeno y alimento (Lárez *et al.* 2021).

La segunda especie numéricamente importante, es el tanaidáceo *S. stanfordi*, el cual presenta distribución mundial y es considerada invasora en

muchos países, tolerando fluctuaciones ambientales (Haaren & Soors, 2009), muestra asociación con los anfípodos (LeCroy, 2004; Hiebert, 2015), lo que coincide con lo encontrado en este estudio, y aunque la mayoría son marinos, pueden adaptarse a los cambios de salinidad, encontrándose en salinidades menores (10 UPS) de ambientes salobres y también dulceacuícolas (Lárez *et al.* 2021).

La presencia y abundancia del anfípodo *Americorophium* sp. se explica, por tratarse de un crustáceo principalmente estuarino (LeCroy, 2004), señalado como especie dominante en otros estuarios (Molina, 2017), adaptado al tipo de sustrato, raíces de *R. mangle* como sustrato duro (Hiebert, 2015) y asociado a tanaidáceos, poliquetos y otros anfípodos. *G. japonica* es una especie exótica formadora de tubos sobre sustratos fangosos, a menudo en aguas costeras y estuarios salobres (Lee, 2008) y *Gitanopsis* sp. de aguas tropicales. La abundancia de estos anfípodos en el área es importante, pues sustenta la diversidad de este grupo de crustáceos, presentes tanto en ambientes marinos, como estuarinos y dulceacuícolas (Mazé, 2015).

Gitanopsis sp. es una especie de hábitats marino costeros y sistemas lagunares o estuarios. Se ha descrito, en otros sustratos, asociada a macroalgas marinas en playas de la península de Paraguaná (Flores, 2012) y bentos de la región estuarina en el delta del

Orinoco (Martín & Díaz, 2007). La presencia de este anfípodo en raíces inmersas de mangle rojo constituye el primer registro para el Sistema de Maracaibo, lo que amplía los límites de distribución de esta especie en Venezuela.

Las condiciones ambientales del área son idóneas para *Nereis* (*Neanthes*) *succinea*, de acuerdo con León & Solís (1997) este poliqueto se distribuye en estuarios, cosmopolita en aguas tropicales, en algas y raíces de mangle y típico de aguas contaminadas. En el grupo de los decápodos, se destacó el cangrejo violinista (*Uca pugilator*), evidenciándose que la totalidad de individuos cuantificados correspondían a juveniles, lo cual está relacionado con la fase planctónica de su ciclo de vida, en la que llegan a la raíz, colonizándola de este modo (Molina *et al.* 2017).

El mejillón *Mytilopsis* sp. aunque fue el molusco más abundante, su abundancia es menor a la reportada en otros trabajos (García Padilla & Palacio, 2008; Ruíz & López, 2014 y Molina 2017), lo que está relacionado con los niveles de salinidad del área (13-14 UPS), pues en salinidades menores (14-19 UPS) su presencia se ve afectada, creciendo más en salinidades mayores a 20 UPS (Llanes & González, 2002).

La presencia del caracol *P. platyrachis* solo en las estaciones 1 y 2, tiene que ver con el sedimento en esas estaciones, que corresponde a zonas

submareales, dado que esta especie se distribuye en ambientes caracterizados por presentar sedimentos arenosos finos a semifangosos (Nava *et al.* 2011), y las demás estaciones se ubican en la porción de la ensenada caracterizada por presentar fondo fangoso (Vera *et al.* 2021). Mientras que para el caracol *N. reactivata* es posible que la competencia por espacio con los cirrípedos sea el motivo de su poca abundancia (Lárez *et al.* 2021). Cabe destacar que los individuos se encontraron debajo del nivel de línea marea en la parte superior de la raíz desprovista de cirrípedos, lo que coincide con lo descrito en otros sustratos con un patrón de zonación espacial representado por una zona de *N. reactivata* en el límite superior, seguida por la dominancia de *B. amphitrite* en la zona media e infralitoral (Lárez *et al.* 2021).

El área tiene una salinidad constante (13-14 UPS). Mayo corresponde al final de la temporada seca y comienzos de la lluviosa (Aguilera & Riveiros, 1993). La ubicación en una zona ecotonal del estrecho del Sistema de Maracaibo, bajo mayor influencia de aguas dulces provenientes del río Aurare y escorrentía pluvial que desemboca al lago, en contraste con las aguas saladas procedentes del golfo de Venezuela (Olivares, 1988), crean condiciones para existencia de bajos niveles de salinidad. Cabe señalar que las estaciones se dispusieron en la ensenada, donde la influencia salina depende

mayormente de las aguas del lago, y en menor medida de la laguna y del río Aurare. Se estima que la predominancia de crustáceos sobre moluscos se debe a su naturaleza estuarina, donde los niveles de salinidad favorecen el desarrollo de crustáceos (Molina, 2017) y los estudios de Cedeño *et al.* (2010) y Acosta-Balbas *et al.* (2014) que mencionan predominancia de moluscos, se han realizado en ambientes principalmente marinos.

La fluctuación de temperatura coincide con la biestacionalidad pluvial. En el estrecho del Sistema de Maracaibo la temperatura promedio anual es de $28.4 \pm 2.34^\circ\text{C}$. En mayo comienzan a registrarse altas temperaturas, patrón descrito en áreas costeras del oriente de Venezuela, con un promedio de 35°C entre mayo y septiembre (Cedeño *et al.* 2010). Las altas temperaturas de las estaciones localizadas al centro de la ensenada se deben a una menor exposición al oleaje por estar más alejadas del flujo de mareas del lago, mientras que las estaciones en los extremos se encuentran más cerca las aguas abiertas del lago, las cuales tienen mayor variabilidad de temperatura (Cedeño *et al.* 2010).

La transparencia varía según la ubicación de las estaciones, el efecto de las mareas e incluso la contaminación, ya que la ensenada La Palmita representa una zona caracterizada por presentar aguas estuarinas, tranquilas, turbias y de fondo fangoso (Vera *et al.*

2021). Además, la toma de muestras en horas de la tarde, donde los vientos presentan velocidades mayores, pudieran favorecer el incremento de turbidez (Lárez *et al.* 2021). Este parámetro tiene una influencia estacional, donde la columna de agua es más turbia en la temporada lluviosa por las descargas de ríos y arroyos, siendo más clara en temporada seca (Ruiz & López, 2014); por ende, la lluvia y los vientos influyen, de forma moderada, en la transparencia de las aguas (Odum, 1972). El crecimiento del afluente del río Aurare y descarga al lago, crea mayor disponibilidad de nutrientes que pueden aprovechar los individuos de este ecosistema, lo cual favorece el desarrollo de algunas especies adaptadas a cambios bruscos de turbidez como *N. succinea*, *S. stanfordi*, *G. japónica*, *Gitanopsis* sp. y *B. amphitrite* (León & Solís, 1997; Romero, 2004; Lee, 2008; Lárez *et al.* 2021).

Los cuerpos lagunares con poca profundidad o menor a 1.5 metros facilitan la mezcla de la columna de agua, ocasionada por la acción del viento y las mareas (Flores *et al.* 1992). Se observó que el nivel de la marea incrementa en horas de la tarde, puesto que se llena con las aguas estuarinas procedentes del estrecho del Sistema de Maracaibo, por acción de las mareas semidiurnas comunes en el área (Lucart *et al.* 2016).

Como se observa, la variación de estos parámetros, aunque puntuales

y espaciales, reflejan las características ambientales del área, provocando respuestas ecológicas en los organismos, por las diferencias de profundidad, exposición al oleaje o cambios de mareas, contacto con aguas de distinta salinidad entre las estaciones ubicadas a los extremos de la ensenada y las localizadas al centro, siendo la profundidad y la salinidad parámetros que pueden mantenerse en el tiempo, en contraste con la temperatura y transparencia que suelen variar con la estacionalidad (Lárez *et al.* 2021). La macrofauna en raíces de *R. mangle* varía en su estructura, dependiendo de la ubicación respecto a los límites del sistema, interacción con los hábitats adyacentes y las migraciones entre los distintos ambientes del área (Cedeño *et al.* 2010).

La alta diversidad de organismos en las estaciones 4 y 1, que a la vez obtuvieron mayor equitatividad, puede estar relacionada a las condiciones ambientales favorables y a un mayor desarrollo de las raíces de *R. mangle* en esas estaciones, lo que ofrece una variedad de microhábitats para los organismos (Acosta-Balbas *et al.* 2014). Parece ser que el efecto de la actividad antrópica y el menor intercambio de mareas sustenta la baja diversidad encontrada en las estaciones 2 y 3. La baja de abundancia y densidad por raíz en las estaciones 5 y 7, se deben al poco desarrollo del manglar en esas estaciones, encontrando solo árboles jóvenes de *R. mangle*.

Los valores reportados en esta investigación son similares a los descritos por Morao (1983) en la laguna de la Restinga, con diversidades entre 0.35-2.44; Valle (2007) reporta valores de diversidad entre 2.23-2.81, en La Ciénaga de Cholón, isla Barú, el cual varía de una estación a otra. Lo que sugiere que, la ubicación de las estaciones frente a la exposición del oleaje y ciclos de mareas condiciona la distribución y diversidad de especies. Odum (1972) afirma que la diversidad es baja en los ecosistemas alterados físicamente, y es un hecho que los cambios periódicos del ciclo de mareas influyen en la composición de la macrofauna (estaciones 2 y 3).

En cuanto al índice de constancia, 14 de 20 especies, aun variando su abundancia entre estaciones, resultaron constantes por estar presentes en más del 50% de las mismas. Las especies accesorias *N. reclinata*, *G. demissa* y *P. platyrachis*, presentes en menos del 49% de las estaciones, se debe a la afinidad de sustrato que prefieren, *G. demissa* un mejillón introducido que se ha extendido en el Sistema de Maracaibo, es abundante en los niveles más bajos de las playas, en especial en las orillas (Rodríguez, 2000), como en la estación 1, *P. platyrachis* solo en las estaciones 1 y 2, caracterizadas por presentar sedimentos arenosos finos, el sustrato habitual del gasterópodo (Nava *et al.* 2011). Para las especies accidentales presentes en menos del

25% de las estaciones, como *P. solida*, un caso similar reporta [García Padilla & Palacio \(2008\)](#) y es mencionada en el área de estudio, localizada solo entre la arena y el fango frente al manglar ([Olivares, 1988](#)); *T. granifera* se trata de una especie exótica dulceacuícola, registrada en sitios rodeados de vegetación y playas arenosas soleadas ([Naranjo-García & Olivera-Carrasco, 2014](#)); y para *Ligia* sp. su distribución y abundancia está ligada a su movilidad, que se encuentran por debajo del límite de mareas, pero nunca inmersos y al sentirse amenazados huyen a ocultarse ([Kensley y Schotte, 1994](#)).

En conclusión, la macrofauna bentónica asociada a raíces inmersas de *R. mangle* en la Ciénaga de La Palmita, es similar a la descrita en otras áreas de Venezuela y el Caribe, presentando una baja proporción y riqueza de moluscos y una alta proporción y abundancia de crustáceos. El cirrípedo *B. amphitrite* fue la especie dominante, seguida del tanaidáceo *S. stanfordi* y el anfípodo *Americorophium* sp., especies caracterizadas por su naturaleza estuarina y adaptación a zonas tropicales. Los parámetros fisicoquímicos indican que este importante ecosistema costero se trata de un ambiente estuarino de poca fluctuación y baja salinidad, donde confluyen especies típicamente marinas y especies estuarinas con predominancia de crustáceos.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Ecología General (FEC-LUZ) por prestar parte del apoyo logístico. A los dos árbitros anónimos, así como a Nidya Nova Bustos, Editora REVMAR por sus observaciones y sugerencias al manuscrito.

REFERENCIAS

- Acosta-Balbas, V., Betancourt-Tineo, R. & Prieto-Arcas, A. (2014). Estructura comunitaria de bivalvos y gasterópodos en raíces del mangle rojo *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) en isla Larga, bahía de Mochima, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 62(2), 551-565. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i2.9803>
- Aguilera, M. & Riveros, J. (1993). *Diagnóstico preliminar de la Ciénaga de La Palmita, municipios Miranda y Santa Rita e isla de Pájaros, municipio Santa Rita*. Venezuela. PROFAUNA & MARNR.
- Barrios, M., Rodríguez-Olarte, D. & Rodríguez, P. (2018). Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 2. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. En D. Rodríguez-Olarte (Ed). *Los ríos en riesgo en la costa oriental del lago de Maracaibo* (pp. 31-46). Venezuela: UCLA.
- Castaing, A., Jiménez, J. M. & Villalobos, C. (1980). Observaciones sobre la ecología de manglares de la costa pacífica de Costa Rica y su relación con la distribución del moluscos *Geloina inflata* (Philippi) (Pelecypoda: Corbiculidae). *Rev. Biol. Trop.*, 28, 323-339.
- Cedeño, J., Jiménez, M., Pereda, L. & Thays, A. (2010). Abundancia y riqueza de moluscos y crustáceos asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo

- (*Rhizophora mangle*) en la laguna de Bocaripo, Sucre, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 58(Supl. 3), 213-226. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i0.20079>
- Díaz, J. & Puyana, M. (1994). *Moluscos del Caribe colombiano. Un catálogo ilustrado*. Colombia. Colciencias-Fundación Natura-Invemar.
- FAO. (2007). *The world's mangroves 1980-2005*. EE. UU.: FAO.
- Flores, A. (2012). *Composición y abundancia de Anfípodos (Crustacea: Gammaridea) asociados a macroalgas marinas en las playas de Adicora y Buchuaco, estado Falcón, Venezuela*. (Tesis de licenciatura no publicada). Universidad del Zulia, Venezuela.
- Flores, F., González, F., Zamorano, D. & Ramírez, P. (1992). Mangrove ecosystems of the Pacific coast of Mexico: Distribution, Structure, Litterfall and Detritus Dynamics. In U. Seeliger (Ed.), *Coastal Plant Communities of Latin America* (pp. 383-392). Brazil: Academic Press, Inc.
- García, M. (2007). Clave ilustrada para las familias de anfípodos gamáridos (Peracarida: Amphipoda) litorales del Pacífico oriental tropical y glosario de términos. *Ciencia y Mar*, XI(32), 3-27.
- García Padilla, J. & Palacio, J. (2008). Macroinvertebrados asociados a las raíces sumergidas del Mangle Rojo (*Rhizophora mangle*) en las bahías Turbo y El Uno, golfo de Urabá (Caribe Colombiano). *Gestión y Ambiente*, 11(3), 55-66.
- González, E. & Borjas, J. (2003). Inventario de la ictiofauna de la ensenada de La Palmita, estrecho del lago de Maracaibo, Venezuela. *Bol. Centro Invest. Biol.*, 37(2), 83-102.
- Haaren, T. & Soors, J. (2009). *Sinelobus stanfordi* (Richardson, 1901): A new crustacean invader in Europe. *Aquatic Invasions*, 4(4), 703-711. <http://dx.doi.org/10.3391/ai.2009.4.4.20>
- Hammer, O., Harper, D. A. & Ryan, P. D. (2001). Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontol. Electrón*, 4(1), 1-9.
- Hiebert T. (2015). *Americorophium brevis*. In T. C. Hiebert, B. A. Butler & A. L. Shanks (Eds.), *Oregon Estuarine Invertebrates: Rudys' Illustrated Guide to Common Species* (pp. 282-286). EE. UU.: University of Oregon Libraries and Oregon Institute of Marine Biology.
- Kensley, B. & Schotte, M. (1994). Marine isopods from the Lesser Antilles and Colombia (Crustacea: Peracarida). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 107(3): 482-510.
- Krebs, C. (1985). *The experimental analysis of distribution and abundance* (3er. Ed.). EE. UU.: Harper and Row.
- Lacerda, L., Conde, J., Kjerfve, B., Álvarez-León, R., Alarcón, C. & Polanía, J. (2001). American Mangroves. In L. D. de Lacerda (Ed.), *Mangrove Ecosystem: Function and Management* (pp. 144-367). EE. UU.: Springer-Verlag.
- Lalana, R., Álvarez, M., Ortiz, M., Pérez, M. & Veledo, T. (1985). Organismos asociados a las raíces de mangle *Rhizophora mangle*, en lagunas costeras y de cayos. *Rev. Invest. Mar.* VI (2-3), 59-71.
- Lárez, L., Mendoza, J., Pereira, N., Nava, M. & Cabrera, L. (2021). Macroinvertebrados bentónicos intermareales de la costa oriental del lago de Maracaibo, Venezuela. *Rev. REDIELUZ*, 11(2), 122-130. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6812282>
- Llanes, C. & González, N. (2002). Evaluación de los mejillones *Mytilopsis sallei* (Re-crúz) y *Brachiodontes exustus* (Linné)

- como bioindicadores de materia orgánica en la bahía de Chetumal, México. *Universidad y Ciencia*, 18(35), 29-41.
- LeCroy, S. (2004). *An illustrated guide to the nearshore marine and estuarine Gammaridean Amphipoda of Florida*. Vol. 3. Families Bateidae, Biancolinidae, Cheluridae, Colomastigidae, Corophiidae, Cyproideidae and Dexaminidae. EE. UU.: Ocean Springs, University of Southern Mississippi.
- Lee, S. (2008). Mangrove macrobenthos: Assemblages, services and linkages. *J. Sea Res.*, 59, 6-29.
- León, J. & Solís, W. (1997). *Comisión nacional para el conocimiento de la biodiversidad. Nereididae. (Annelida: Polychaeta) de México*. Informe Final Proyecto H-01. México. Sin editorial.
- Lucart, A., Hernández, L., Ortega, M. & Barboza, F. (2016, julio). *Fenología reproductiva de R. mangle, L. racemosa y C. erectus presentes en costa occidental del estrecho del lago de Maracaibo*. Ponencia presentada en el V Congreso Venezolano, VI Jornadas Nacionales de Investigación Estudiantil “Dr. Jesús Enrique Lossada”, Maracaibo, Venezuela.
- Lucas, E. & De la Cruz, V. (2018). Macroflora y macrofauna asociada a las raíces sumergidas de *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae), en la laguna Tampamachoco, Veracruz, México. *Rev. Colombiana Ciencia Animal*, 10(1), 31-42. <https://doi.org/10.24188/recia.v10.n1.2018.629>
- Magurran, A. (1988). Ecological Diversity and Its Measurement. EE. UU.: Princeton.
- Márquez, B. & Jiménez, M. (2002). Moluscos asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo *Rhizophora mangle*, en el golfo de Santa Fe, estado Sucre, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 50(3/4), 1101-1112.
- Martín, A. & Díaz, Y. (2007). Biodiversidad de crustáceos peracáridos en el delta del río Orinoco, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 55 (Supl. 1), 87-102. <https://doi.org/10.15517/rbt.v55i0.5809>
- Mazé R. (2015). Clase Malacostraca Orden Amphipoda. *Revista Ibero Diversidad Entomológica @ccesible*, 82, 1-10.
- Mazparrote, S. (1986). *Fundamentos de ecología*. Venezuela. Editorial Biosfera.
- Medina, E. & Barboza, F. (2006). Lagunas costeras del lago de Maracaibo: Distribución, estatus y perspectivas de conservación. *Ecotrópicos*, 19, 128-139.
- Medina, P., Marín, M., Polo, C., Reyes, L. & Godoy, A. (2005). Isópodos en raíces de mangle rojo (*Rhizophora mangle*), en isla San Carlos, estado Zulia, Venezuela. *Bol. Centro Invest. Biol.*, 39(1), 67-79.
- Molina, G. (2017). Malacofauna y Carcinofauna asociada a *Rhizophora mangle* (L, 1753) en un estuario: río Ranchería, La Guajira, Colombia. *Rev. Posgrado y Sociedad*, 15(1), 27-38. <https://doi.org/10.22458/rpys.v15i1.1823>
- Molina G., Jiménez, A. & Nava, M. (2017). Taxocenosis Mollusca-Crustacea en raíces de *Rhizophora mangle*, delta del río Ranchería - La Guajira, Colombia. *Intropica*, 12(2), 87-100.
- Morao, A. (1983). *Diversidad y fauna de moluscos y crustáceos asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo, Rhizophora mangle en la laguna de la Restinga*. (Tesis de licenciatura no publicada). Universidad de Oriente, Venezuela.
- Naranjo-García, E. & Olivera-Carrasco, M. (2014). Moluscos dulceacuícolas introducidos e invasores. En R. Mendoza & P. Koleff (Eds.). *Especies acuáticas invasoras en México* (pp. 337-345). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Nava, M., Severeyn, H. & Machado, N. (2011). Distribución y taxonomía de *Pyrgophorus platyrachis* (Caenogastropoda: Hydrobiidae), en el Sistema de Maracaibo, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 59(3), 1165-1172. <https://doi.org/10.15517/rbt.v0i0.3388>
- Odum, E. (1972). *Fundamentals of Ecology*. EE. UU.: W. B. Saunders Company.
- Olivares, D. (1988). Caracterización ecológica del manglar de la Ciénaga las Palmitas (estado Zulia, Venezuela). *Bol. Centro Invest. Biol.*, 17, 91-119.
- Ordosgoitti, R. (1985). *Estudio ecológico de la epifauna en raíces sumergidas del mangle Rhizophora mangle en la bahía de Mochima*. (Tesis de licenciatura no publicada). Universidad de Oriente, Venezuela.
- Ortiz, M. (1994). Clave gráfica para la identificación de familias y géneros de anfípodos del suborden Gammaridea del Atlántico Central Tropical. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*, 23(1), 59-101. <http://dx.doi.org/10.25268/bimc.invemar.1994.23.0.389>
- Quiceno Cuartas, P. & Palacio Baena, J. (2008). Aporte al conocimiento de los macroinvertebrados asociados a las raíces del mangle (*Rhizophora mangle*) en la ciénaga la Boquilla, municipio de San Onofre, Sucre. *Gestión y Ambiente*, 11(3), 67-78.
- Quintero, E., Polanco, D., Yamarte, R. & Reyes, J. (2021). Crustáceos asociados a raíces sumergidas de *Rhizophora mangle* en la laguna de Cocinetas, Alta Guajira Venezolana. *Rev. REDIELUZ*, 11(1), 91-97.
- República Bolivariana de Venezuela. (2000). Decreto N.º 730 sobre la creación de la Reserva de Fauna Silvestre Ciénaga de La Palmita e Isla de Pájaros. (Publicado en la Gaceta Oficial N.º 36.911, marzo 15). Venezuela: Imprenta Nacional.
- Rice, E., Baird, R. & Eaton, A. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). EE. UU.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation.
- Rodríguez, G. (2000). *El sistema de Maracaibo*. 2ª edición. Venezuela: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).
- Romero, P. (2004). *Composición taxonómica y proceso sucesional de la fauna asociada a las raíces sumergidas de Rhizophora mangle (Mangle Rojo) de San Andrés isla*. (Tesis de licenciatura publicada). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia.
- Ruiz, M. & López, J. (2014). Variación espacio-temporal de la comunidad de macroinvertebrados epibiontes en las raíces del mangle rojo *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) en la laguna costera de La Mancha, Veracruz, México. *Rev. Biol. Trop.*, 62(4), 1309-1330. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.12582>
- Severeyn, H. & Rodríguez, G. (2000). La fauna estuarina: Invertebrados. En G. Rodríguez (Ed.). *El Sistema de Maracaibo*. (pp. 140-224). Venezuela: Instituto de Investigaciones Científicas (IVIC).
- Valle, A. (2007). *Estructura del bosque de manglar y algunos aspectos sobre la fauna asociada a las raíces de Rhizophora mangle (L., 1773) en la ciénaga de Cholón, isla Barú, Municipio de Cartagena, Caribe Colombiano*. (Tesis de licenciatura no publicada). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia.
- Vera, A., Villareal, A. & Martínez, M. (2010). Composición florística de cuatro ambientes en la Ciénaga de La Palmita, estado Zulia, Venezuela. *Acta bot. Venezuelica*, 33(1), 23-32.

Vera, A., Pacheco, D., Barboza, F., Jiménez, L., Martínez, M. & León, E. (2021). Aportes para la zonificación de la Reserva de Fauna Silvestre Ciénaga de La Palmita e Isla de Pájaros, estado Zulia, Venezuela. *Rev. REDIELUZ*, 11(1), 85-90.

Sistema integrado para la vigilancia y gestión de floraciones algales nocivas en la provincia de Cienfuegos, Cuba

Integrated system for the surveillance and management of harmful algal blooms in coastal areas of the province of Cienfuegos, Cuba

Gabriel Liván Rojas-Abrahantes^{1*}, María Elena Castellanos-González¹, Clara Elisa Miranda-Vera¹, Lisbet Díaz-Asencio¹, Olidia Hernández-Leyva², Livan Rojas-Lantigua³ y Ángel Ramón Moreira-González¹



RESUMEN

Las floraciones algales nocivas pueden tener consecuencias negativas en la salud, economía y diversidad biológica de los ecosistemas marinos. En la provincia de Cienfuegos, ubicada al centro-sur de Cuba, han ocurrido diferentes eventos de estas floraciones en su bahía de igual nombre, con impactos negativos en la salud pública y la economía del país, así como para la localidad. El objetivo de este trabajo fue diseñar e implementar un sistema de vigilancia y gestión de esos eventos para la provincia de Cienfuegos, con vistas a disponer de mecanismos de acción intersectorial bien definidos, ante la aparición de tales microorganismos, basado en los principios del Manejo Integrado de Zonas Costeras. Durante el año 2021, se constató científicamente eventos de floraciones de las algas aludidas, por lo que se desarrolló un taller para el diseño y la propuesta de dicho sistema, utilizando el criterio de especialistas claves en la gestión de los eventos mencionados en el territorio. El sistema de vigilancia y gestión tuvo como principal característica garantizar la integración de los sectores relacionados con la problemática en la provincia. Este sistema fue dividido en cinco etapas: vigilancia, comunicación, activación del sistema, gestión directa y evaluación de impactos. En octubre de 2021, se logró implementarlo con resultados satisfactorios, tras la ocurrencia de una floración del dinoflagelado *Vulcanodinium rugosum*. Su puesta en práctica

- 1 Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cuba. gabriel@ceac.cu*, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0768-8146>; elena@gestion.ceac.cu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5140-6957>; clarita@gestion.ceac.cu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4513-3985>; lisset@ceac.cu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3566-2402>; angel@gestion.ceac.cu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9638-2602>
- 2 Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología de Cienfuegos, Cuba. olidiah@jagua.cfg.sld.cu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2837-5245>
- 3 Dirección Provincial de Salud Cienfuegos, Cuba. vdprimero@dps.cfg.sld.cu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6554-301X>

contribuyó a mitigar los impactos de las floraciones algales nocivas en diferentes sectores de desarrollo en la provincia de Cienfuegos.

Palabras clave: Floraciones Algales Nocivas, manejo integrado, zonas costeras, Cienfuegos, Cuba.



ABSTRACT

Harmful algal blooms can have negative consequences on the health, economy, and biological diversity of marine ecosystems. In the province of Cienfuegos, located in south-central Cuba, different bloom events have occurred in the bay of the same name, with a negative impact on the health and economy of the locality, as well as of the country. The objective of this research project was to design and implement a surveillance and management system of these events in the province of Cienfuegos, with the purpose of having well-defined intersectoral action mechanisms for the occurrence of these microorganisms, based on the principles of Integrated Management of Coastal Zones. During 2021, bloom events of these algae were scientifically confirmed; consequently, a workshop was developed for the design and proposal of this system, using the criteria of key specialists in the management of these events in the territory. The main characteristic of the monitoring and management system was to guarantee the integration of the sectors in the province related to this problem. This system was divided into five stages: surveillance, communication, system activation, direct management, and impact assessment. In October 2021, the system was implemented with satisfactory results after a bloom of the dinoflagellate *Vulcanodinium rugosum*. The implementation of this system contributed to mitigate the impacts of harmful algal blooms in different development sectors in the province of Cienfuegos.

Keywords: Harmful Algal Blooms, integrated management, coastal zones, Cienfuegos, Cuba.

INTRODUCCIÓN

Las microalgas marinas son las principales contribuyentes en la generación primaria de energía y representan la base de las cadenas alimenticias en los mares. El crecimiento explosivo de las microalgas, conocido como floraciones algales, es un evento natural. Este fenómeno ayuda a mantener el desarrollo de varios elementos de la

fauna marina. No obstante, no todos esos florecimientos son beneficiosos; algunos pueden tener efectos perjudiciales en la salud humana, la acuicultura, el entorno natural y las actividades de ocio o recreación (Giussani *et al.* 2017). Tales proliferaciones son conocidas como Floraciones Algales Nocivas (FANs), término adoptado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO

y ampliamente aceptado en el nivel internacional, para referirse a cualquier propagación perjudicial de microalgas, independientemente de su densidad (Reguera *et al.* 2011).

Algunas especies de microalgas asociadas a FANs o “mareas rojas”, como comúnmente se conocen estos eventos, pueden producir compuestos tóxicos con consecuencias negativas para la salud pública, la industria pesquera, el sector turístico y los ecosistemas de las zonas donde ocurren (Anderson *et al.* 2021). Algunas microalgas marinas tóxicas causan mortalidad de peces, invertebrados y otras formas de vida marina; asimismo, otras pueden afectar a los seres humanos, ya sea por el contacto directo, la exposición a los aerosoles tóxicos o la ingestión de organismos contaminados (Sengco, 2009). Entre las principales intoxicaciones ocasionadas por la ingestión de mariscos y pescados contaminados con toxinas de microalgas marinas, se encuentran las producidas por ácido domoico (asociadas a la ASP, por sus siglas en inglés), la diarreica (DSP), la neurotóxica (NSP), la parálitica (PSP), la ocasionadas por azaspirácidos (AZP) y la ciguatera (CFP) (Anderson *et al.* 2021).

Además, la palitoxina y sus análogos se encuentran entre las toxinas marinas conocidas más tóxicas, provocadas por los dinoflagelados bénticos del género *Ostreopsis* spp. (Randall, 2005; Tartaglione *et al.* 2016). Del

mismo modo, algunas cianobacterias marinas y estuarinas son responsables de dermatitis por la producción de cianotoxinas, que se han asociado a diferentes especies (ej.: *Lyngbya majuscula* Harvey ex Gomont) y enfermedades gastrointestinales en humanos (ej.: *Nodularia spumigena* Mertens ex Bornet & Flahault) (Moore *et al.* 1993). Finalmente, toxinas emergentes de dinoflagelados como iminas cíclicas, gimnodiminas (GYM), prorocentrólidos y espirólidos, generados por especies como *Karenia* spp., *Prorocentrum* spp. y *Alexandrium ostenfeldii* (Paulsen) Balech & Tangen, así como las pinnatoxinas (PnTX) y portiminas, procedentes de *Vulcanodinium rugosum* Nézan & Chomérat, pueden representar riesgos potenciales para la salud (Delcourt *et al.* 2019).

Por otra parte, es preciso considerar que ciertas especies de microalgas marinas no tóxicas pueden llegar a ser altamente nocivas y hasta letales para la biota marina, debido a su proliferación masiva, generalmente en áreas costeras semicerradas (Anderson *et al.* 2017). Algunas consecuencias de estas proliferaciones son el consumo del oxígeno del agua y el bloqueo o la reducción de la entrada de luz solar, con efectos devastadores para los ecosistemas, si el florecimiento es de larga duración (Van Dolah *et al.* 2001). A esto se le suma el impacto económico en las zonas donde ocurre, lo cual está relacionado, entre otras secuelas,

con el cierre de las pesquerías o de zonas turísticas-recreativas (Zohdi & Abbaspour, 2019). Debido a la globalización, el aumento de la temperatura y la tendencia humana al incremento de asentamientos costeros, se espera una subida en la intensidad, la frecuencia y el tiempo de permanencia de los eventos de FANs en los próximos años (Tester *et al.* 2020; Trainer, 2020).

La provincia de Cienfuegos, situada en el centro-sur de Cuba, contiene varios ecosistemas marinos con gran diversidad biológica. En la bahía de Cienfuegos, principal patrimonio natural de la región, ha sido frecuente la ocurrencia de FANs en los últimos años, asociadas con afectaciones a la biodiversidad, la salud pública y las actividades recreativas (Cuadro 1). Entre estos eventos, puede mencionarse una floración del dinoflagelado

Vulcanodinium rugosum en julio de 2015, que causó irritaciones en la piel a bañistas quienes frecuentaron algunas playas de la bahía (Moreira-González *et al.* 2021).

Floraciones del dinoflagelado *Margalefidinium polykrikoides* (Margalef) F. Gómez, Richlen & D. M. Anderson han estado asociadas a eventos de muerte de peces y otros organismos marinos en el área protegida Laguna Guanaroca, localizada en el lóbulo sur de la bahía (Moreira-González *et al.* 2016). Además, en áreas semicerradas de la bahía afectadas por la eutrofización, se han reportado floraciones de dinoflagelados tóxicos (ej.: *Heterocapsa circularisquama* Horiguchi) y no tóxicos (ej.: *Blixaea quinquecornis* (Abé) Gottschling, *Gonyaulax polygramma* F. Stein y *Prorocentrum* spp.), generalmente

Cuadro 1. Lista de eventos de Floraciones Algaes Nocivas en la bahía de Cienfuegos, Cuba, reportados en la literatura

Table 1. List of Harmful Algal Bloom events in Cienfuegos Bay, Cuba, reported in the literature

Fecha	Evento	Referencia
jul-2009	Mortalidad de peces por floración de <i>Heterocapsa circularisquama</i> en la bahía de Cienfuegos, Cuba	(Moreira-González, 2010)
ene-2014	Mortalidad de fauna marina por la floración de <i>Margalefidinium polykrikoides</i> en Laguna Guanaroca, Cienfuegos, Cuba	(Moreira-González <i>et al.</i> 2016)
jul-2015	Floración de <i>Vulcanodinium rugosum</i> en áreas de baño de la bahía de Cienfuegos. Provocó intoxicaciones en la piel de los bañistas.	(Moreira-González <i>et al.</i> 2021)
oct-2021	Floración de <i>Vulcanodinium rugosum</i> en áreas de baño de la bahía de Cienfuegos. Provocó intoxicaciones en la piel de los bañistas.	Reportado en este trabajo

relacionados con malos olores, alarma social o muerte de algunos peces (Moreira-González, 2010; Moreira-González *et al.* 2014). A su vez, históricamente los reportes de brotes de ciguatera han sido comunes en la provincia de Cienfuegos (Díaz-Asencio *et al.* 2019).

La identificación temprana de eventos de Floraciones Algales Nocivas (FANs) puede proporcionar a las autoridades reguladoras información valiosa y, de esta forma, tanto salvaguardar el bienestar de la población como minimizar los efectos económicos en las zonas de pesca y recreación. Dadas las complejas dinámicas que rodean estos fenómenos, es crucial que la vigilancia y el manejo de eventos de FANs se aborden de manera integrada y participativa, involucrando a todos los sectores de la sociedad. Con este enfoque, se podrán mitigar, notablemente, los daños potenciales de las FANs en los asentamientos costeros (Grattan *et al.* 2016; 2018).

Históricamente, los sectores de salud pública y de la ciencia han sido claves en la gestión de los eventos de FANs ocurridos en la provincia de Cienfuegos. Sin embargo, ante la ausencia de un sistema de trabajo que coordine las acciones entre aquellos y otros sectores, en ocasiones se ha evidenciado desorganización y demora en la respuesta a los sucesos ocurridos. Por lo tanto, se hace necesario establecer mejores mecanismos de integración, que permitan una respuesta

efectiva a los fenómenos mencionados y contribuyan a la mitigación de sus impactos perjudiciales en los diferentes ámbitos sociales y económicos de la provincia.

En Cuba, existen antecedentes de estudio y gestión de enfrentamiento a eventos de FAN (Gómez-Luna *et al.* 2021). No obstante, una adecuada gestión de ellos requiere atender las particularidades contextuales de cada realidad. Por lo tanto, es necesario establecer mecanismos de alerta y gestión de los sucesos de FANs en correspondencia con la situación específica de cada territorio. La finalidad de esta investigación fue diseñar e implementar un sistema para gestionar los eventos de floraciones algales nocivas en las costas de la provincia de Cienfuegos, Cuba, basado en la participación conjunta de los diferentes sectores que utilizan o gestionan los recursos en esas áreas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La provincia de Cienfuegos (Fig. 1) cuenta con numerosos asentamientos costeros dentro de su territorio político-administrativo; es la ciudad de Cienfuegos la principal concentración urbana. Esta urbe costera está situada junto a la bahía de Jagua, también conocida como la bahía de Cienfuegos, la cual es uno de sus principales atributos distintivos (Barcia-Sardiñas *et al.* 2017). La bahía es el recurso natural de

mayor valor de la provincia, debido al desarrollo de actividades como la industria, el transporte marítimo, la pesca, los parques naturales y el turismo.

La región tiene un clima tropical, con una estacionalidad húmeda y la influencia del mar. La temperatura media anual se sitúa en 24.7°C y la humedad relativa, en torno al 76%. Enero constituye el mes más fresco, con una media de 21.6°C; por su parte, julio es el mes más cálido, con 27.0°C. La precipitación

media anual es de 1 363.1 mm, con un período seco (noviembre-abril) y otro húmedo (mayo-octubre) (Castillo-Oliva & Barcia-Sardiñas, 2015).

Bases metodológicas para el diseño de un sistema de vigilancia y gestión de FANs en la provincia de Cienfuegos

Desde el punto de vista metodológico, primeramente, los investigadores, sistematizaron, a partir de un análisis de documentos (Cortés-Cortés &

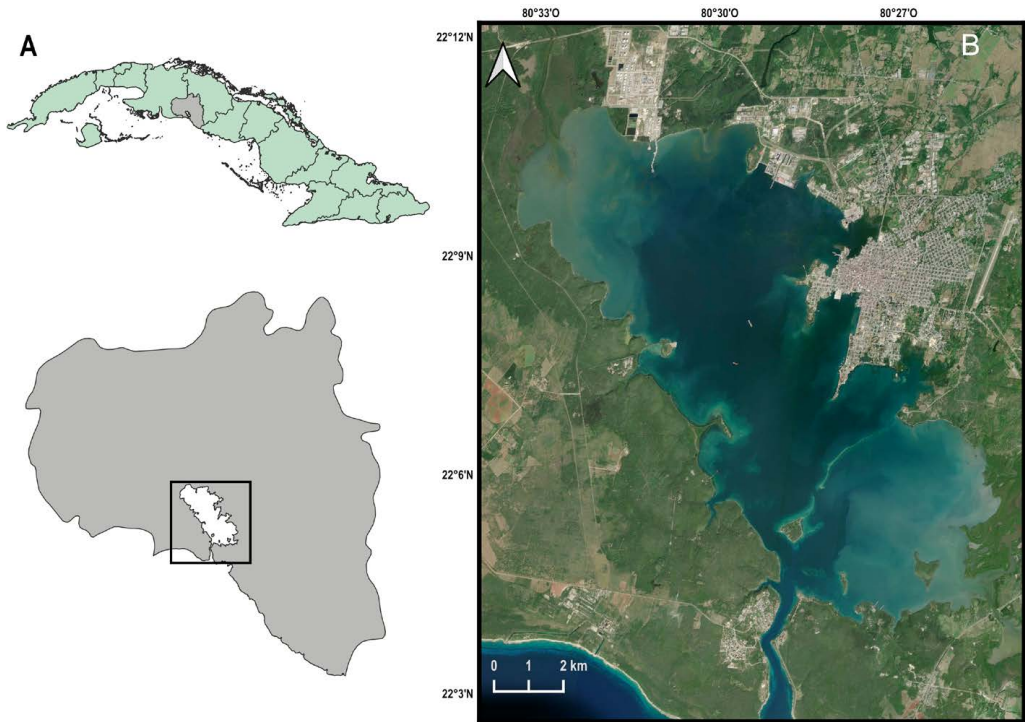


Fig. 1. Área de estudio designada para el diseño del sistema de vigilancia y gestión de eventos de FANs, Provincia de Cienfuegos (A), ampliación de bahía de Cienfuegos (B)

Fig. 1. Study area designated for the design of the HAB event monitoring and management system, Province of Cienfuegos (A), Cienfuegos Bay extension (B)

Iglesias-León, 2004; Hernández *et al.* (2014), diversas referencias bibliográficas sobre los aspectos que debía contener un sistema de vigilancia y gestión de eventos de floraciones algales nocivas, informaciones brindadas por mapas en cuanto a localización de estos eventos en la bahía de Cienfuegos, su alcance, coloración y nocividad, según los datos de reportes realizados durante el estudio de eventos anteriores.

De igual manera, este grupo identificó y fundamentó los principios del Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC), acorden con Cicin-Sain *et al.* (1998), que a su vez están estrechamente relacionados con los principios del desarrollo sostenible (Abad-Salazar *et al.* 2015) y que es indispensable tener presentes en la construcción de este sistema, para darle el carácter integral y preventivo que debía caracterizarlo. Dichos principios fueron: la integración intersectorial, la integración ciencia-manejo, toma de decisiones participativa basada en una actuación racional (prevención, precaución) y de responsabilidad compartida (co-manejo, mediante la participación comunitaria).

Una vez identificados los aspectos fundamentales del sistema, así como su enfoque integrador y preventivo, fueron sometidos a criterios de especialistas, a través de un taller participativo en abril de 2021, para poner en discusión, validación y aprobación

la propuesta final del sistema (Ørngreen & Levinsen, 2017).

Para la validación, fueron seleccionados todos los especialistas posibles (un total de 11 personas) que cumplieran los siguientes requisitos:

- Ser actores claves de los sectores más importantes en la vigilancia para la gestión de eventos de FANs en la provincia como: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), específicamente, del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), Subdelegación de Medio Ambiente, Oficina de Regulación y Seguridad Ambiental (ORSA), Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología (CPHEM) y Dirección Provincial de Salud del Ministerio de Salud Pública del territorio.
- Tener como mínimo 10 años de experiencia profesional en el desempeño de funciones en su sector.
- Haber participado en la gestión de los eventos de floraciones algales nocivas ocurridos con anterioridad en la provincia.

La validación del sistema diseñado, a través de este taller participativo, se constituyó en un espacio para el ejercicio de la profesión con carácter interdisciplinario, para valorar la factibilidad, aplicabilidad y viabilidad de la propuesta en las condiciones actuales del contexto.

Procedimiento para el monitoreo durante el episodio de FANs

En octubre de 2021, ocurrió un episodio de dermatitis asociado a una floración de microalgas, en un área de baño de la bahía de Cienfuegos, por lo que se procedió al monitoreo del evento, como parte de una aplicación práctica del sistema diseñado. La floración se observó específicamente en el área de baño “Círculo Juvenil” (22.124237’ N, -80.452863’ O) y en el tramo costero aledaño popularmente conocido como “muelle de la T”

(22.123382’ N, - 80.453024’ O). El monitoreo *in situ* fue llevado a cabo por especialistas del CEAC, en conjunto con funcionarios de la inspección sanitaria estatal del Centro Provincial de Higiene y Epidemiología (CPHEM). El muestreo del fitoplancton fue realizado según la metodología propuesta por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental para el monitoreo del fitoplancton (Reguera *et al.* 2016). Los sitios de muestreo fueron ubicados y se aseguraron las coordenadas usando un GPS (Fig. 2).

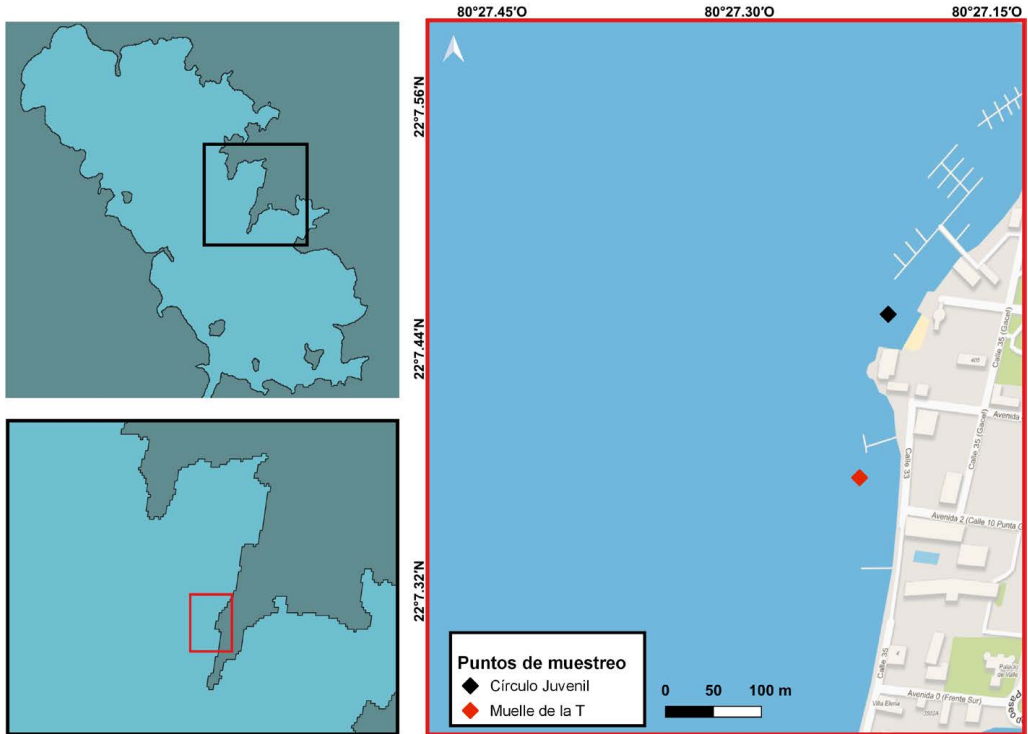


Fig. 2. Tramo costero donde ocurrió un florecimiento de algas nocivas en octubre de 2021, en bahía de Cienfuegos, Cuba

Fig. 2. Coastal segment where a harmful algal bloom occurred in October 2021, in Cienfuegos Bay, Cuba

Para el análisis cualitativo, se tomaron muestras con una red de fitoplancton de 20 μm ; el contenido de la red se vertió a una botella y se fijó con formalina a una concentración final del 4%. Se tomaron, además, tres muestras de agua de la subsuperficie (0.5 m), utilizando frascos de 250 mL; estas fueron preservadas con 1.5 mL de Lugol neutro. Posteriormente, todas las muestras fueron transportadas y almacenadas en el laboratorio hasta el momento del análisis. Una vez en el laboratorio, la identificación y recuento de las células fitoplanctónicas se efectuó usando un microscopio invertido (Axiovert 40 CFL, Zeiss), con una magnificación de 100 x, siguiendo diversos criterios morfológicos de listas y catálogos de especies disponibles en la literatura (Espinoza *et al.* 2013; Hoppenrath, 2017; Omura *et al.* 2013).

Para llevar a cabo el análisis cuantitativo, se agitó cada muestra fijada, con el fin de homogenizar su contenido, y posteriormente se transfirió una porción de 1 mL a una cámara de conteo Sedgewick-Rafter. Este procedimiento se repitió en tres ocasiones para cada muestra. La abundancia de las células se determinó teniendo en cuenta el promedio de los conteos de las tres muestras y el volumen total, aplicando los factores de conversión volumétricos apropiados. El resultado final se expresó en células L^{-1} (cél. L^{-1}).

Junto al análisis de las muestras biológicas se realizó una colecta del agua circundante a la floración, para determinar los valores de otras variables ambientales o parámetros fisicoquímicos de interés en el estudio del evento. Debido a la cercanía entre ambos sitios (menos de 100 m de distancia entre ellos) y por cuestiones logísticas, se colectaron muestras de aguas solamente en el “Círculo Juvenil”, al nivel subsuperficial de la columna de agua (0.5 m). Las muestras cuyo análisis no se realizó *in situ* fueron preservadas a 4°C hasta su posterior examen en el laboratorio.

Los parámetros ambientales determinados en el agua fueron: temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes (amonio, nitratos, nitritos y fosfatos). Se obtuvo la salinidad y la temperatura en el sitio de muestreo, mediante el uso de una sonda digital modelo YSI-30. Para el análisis del pH, se empleó un pH-metro digital (HANNA). El oxígeno disuelto fue examinado a través del método Winkler, con las modificaciones propuestas por Carriet y Carpenter (1966). Los nutrientes se determinaron gracias a las metodologías propuestas por la UNESCO (1983) y la UNEP (1991). Toda la información obtenida a partir de estos ensayos se utilizó para complementar los análisis biológicos.

RESULTADOS

Sistema de vigilancia y gestión de FANs

El sistema diseñado en este trabajo para la vigilancia y gestión de eventos de FANs en la provincia de Cienfuegos es un proceso continuo, compuesto por cinco etapas: vigilancia, comunicación, activación del sistema, gestión directa del evento y evaluación de los impactos (Fig. 3). En este, se prevé la participación de todos los sectores de la sociedad, fundamentalmente, de aquellos más relacionados, como el turismo, la pesca, el Gobierno, Salud Pública, las ciencias, la prensa y las comunidades; cada uno juega un papel esencial en las diferentes etapas del proceso.

Vigilancia, comunicación y activación del sistema

El enfoque en la vigilancia ambiental consiste en el monitoreo constante de los cuerpos de agua costeros, el cual incluye el estudio de las muestras tanto de microalgas como ambientales. Mediante la evaluación del fitoplancton, se puede identificar la presencia y concentración de microalgas potencialmente nocivas. Para cumplir este objetivo, el CITMA desarrolla proyectos y servicios científico-técnicos enfocados en el monitoreo de la bahía y el litoral costero de la provincia, El CEAC, entidad subordinada a la Delegación Territorial del CITMA en la provincia de Cienfuegos, es la responsable de llevar a cabo dichos proyectos y servicios.

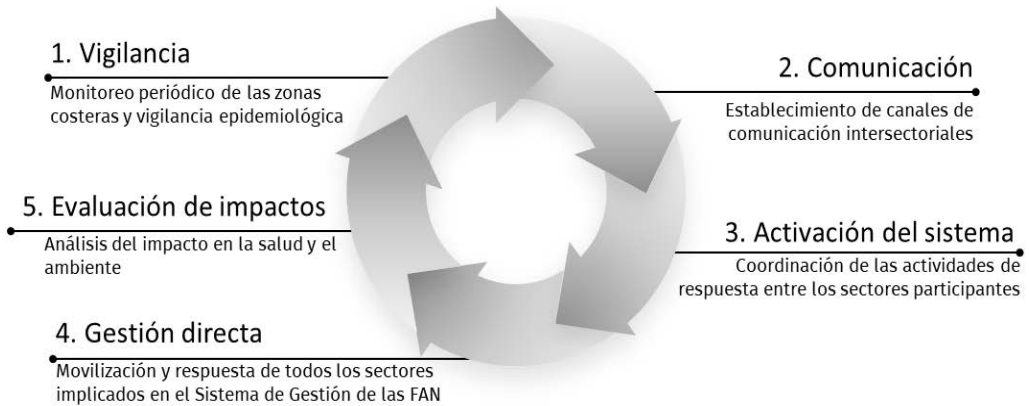


Fig. 3. Etapas del sistema de vigilancia y gestión de eventos de floraciones algales nocivas propuesto para las zonas costeras de la provincia de Cienfuegos, Cuba

Fig. 3. Stages of the monitoring and management system for harmful algal bloom events proposed for the coastal areas of province of Cienfuegos, Cuba

Otras entidades del CITMA tienen participación en la vigilancia ambiental de FANs, desempeñan un papel importante en la detección temprana de un evento de FAN en el territorio. La subdelegación de Medio Ambiente del CITMA cuenta con el departamento de Recursos Naturales, Ecosistemas Priorizados y Cambio Climático, encargado de la preservación ambiental y de áreas protegidas. Esta entidad es la responsable de la vigilancia y gestión de todas las áreas protegidas, así como de parques naturales del territorio; reporta cualquier situación adversa que ocurra, como la mortalidad de peces o cambios de coloración o viscosidad del agua en los recursos marinos, lo cual está ligado a la posible ocurrencia de un suceso de FANs.

Por su parte, la ORSA también puede verse involucrada en la vigilancia de eventos de FANs en la provincia. La misión de esta institución es asegurar el cumplimiento de las regulaciones existentes, en relación con la defensa ambiental en el país, y supervisar el cumplimiento de los acuerdos internacionales sobre protección del medio ambiente adquiridos por el Estado de Cuba. La entidad es encargada de que se cumplan las regulaciones ambientales en los movimientos portuarios, la pesca y otras actividades ligadas al uso de los recursos marino-costeros. Esto permite que a través de sus inspecciones periódicas se obtenga información sobre la posible ocurrencia de

floraciones algales. En general, ambas organizaciones (Subdelegación de Medio Ambiente y ORSA) tienen un papel fundamental en la vigilancia, la comunicación oportuna de la información sobre una posible floración algal (enlazada con afectaciones al medio ambiente y la biodiversidad marina) y la consecuente activación del sistema.

Otra forma de vigilancia la constituye la participación de las comunidades costeras, sobre todo de aquellas cuyas actividades económicas fundamentales estén ligadas al uso de los recursos marinos. Es por ello que este sistema incluye su participación como entes activos en la vigilancia ambiental. Para esto, se han realizado trabajos de intervención comunitaria, como talleres y entregas de materiales de divulgación y educación ambiental, relacionados con la identificación de eventos de FANs en las zonas costeras (AENTA, 2021).

El CPHEM es responsable de la vigilancia epidemiológica en salud pública del sistema de gestión de FAN propuesto. Cada área de salud de la provincia, incluyendo los centros hospitalarios, cuenta con un departamento de higiene y epidemiología, que concibe entre sus funciones la comunicación al CPHEM sobre cualquier evento epidemiológico detectado que se relacione con las FANs. De esta forma, se mantiene una vigilancia epidemiológica que abarca todo el territorio provincial.

Una vez detectado el evento de FAN, corresponde la etapa de comunicación interinstitucional, intersectorial o desde las comunidades costeras con las instituciones ambientales o de salud pública del territorio. Para complementar las vías comunicativas existentes (teléfono, correo electrónico) se han creado grupos de respuesta en las redes sociales (WhatsApp, Telegram y Facebook), que permiten una interacción directa entre las instituciones y con integrantes de las comunidades.

Por cualquiera de las vías antes explicadas, puede generarse una información de riesgo potencial que lleve a la activación del sistema, la cual dependerá siempre de la naturaleza de la floración y desde dónde fueron detectados los datos de riesgo. Si sucedió desde las instituciones del CITMA, los reportes siempre se enviarán a la Delegación Territorial del CITMA en la provincia, encargada de la comunicación intersectorial. En caso de que el riesgo sea descubierto por una institución de salud, los reportes siempre llegarán al CPHEM, institución con la facultad de comunicar a otros sectores como el CITMA y el Gobierno. Para la participación ciudadana en la vigilancia, se han colocado carteles con información relevante, que insten a avisar en caso de la detección de posibles eventos de FANs (cambio de coloración del agua, viscosidad, mortalidad de peces, etc.). Es importante, en esta etapa, la inmediatez de la comunicación entre los sectores involucrados, para que la

respuesta al evento sea lo más oportuna posible. Posterior a esta etapa comunicativa, el sistema se considerará activado una vez que todos los sectores involucrados hayan sido notificados y comiencen las actividades de coordinación para la gestión del evento.

Gestión directa y evaluación de los impactos

La gestión directa es una etapa compuesta por un conjunto de actividades que constituyen la movilización y respuesta de todos los actores implicados. Los pasos principales propuestos en esta etapa incluyen tomar muestras *in situ* (de microalgas y agua), determinar la especie responsable de la floración y su impacto tóxico o nocivo, evaluar el nivel de riesgo, llevar a cabo estudios epidemiológicos, si es necesario, informar al Gobierno e implementar medidas para reducir el impacto. Entre estas medidas, se encontrarán siempre la divulgación al público en general sobre la ocurrencia de la floración algal, mediante la prensa y vías alternativas de comunicación, así como la vigilancia continua del evento hasta que sea determinado el fin del estado de alerta.

Por ejemplo, si ocurriese una floración de microalgas con afectaciones para la salud humana, los sectores del CITMA (a través del CEAC) y de Salud Pública (por medio del CPHEM) serán los responsables de la supervisión y coordinación de la vigilancia y respuesta al evento (Fig. 4). La primera

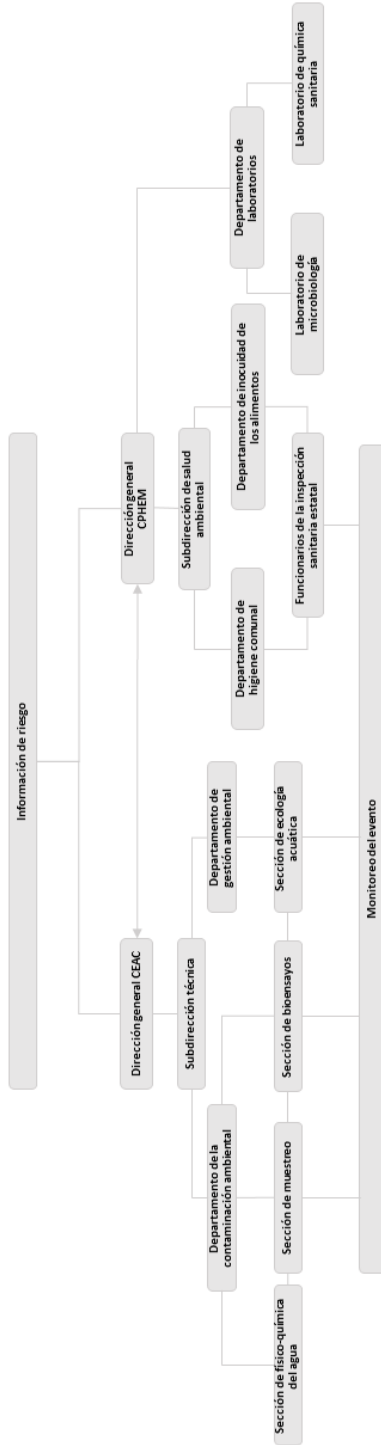


Fig. 4. Flujo de información y estructura de respuesta de el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos y el Centro de Higiene, Epidemiología y Microbiología, ante un evento de floraciones algales nocivas en la provincia de Cienfuegos
 Fig. 4. Information flow and response structure of the Center for Environmental Studies of Cienfuegos and the Center for Hygiene, Epidemiology and Microbiology in case of a harmful algal bloom event in the province of Cienfuegos

fase de trabajo estará dirigida al monitoreo para determinar el organismo causante y las condiciones ambientales que acompañan la floración algal. Si la floración ocurrida es provocada por alguna especie tóxica (ej.: las intoxicaciones ocurridas en bañistas en el verano del 2015), será necesario un estudio epidemiológico (coordinado por el CPHEM) que permita conocer el alcance del suceso y si ha habido otras zonas afectadas en la provincia. Si el estudio arroja la presencia de otras áreas de baño o de uso de recursos costeros potencialmente afectadas por especies de FANs, debe realizarse un muestreo en cada una de ellas, en aras de definir el alcance de la floración.

Con toda la información obtenida de los muestreos iniciales, se elaborará un informe conjunto firmado por las máximas autoridades provinciales de ambos sectores (CITMA y Salud Pública), que contendrá, además, una propuesta de medidas por aplicar para mitigar los potenciales impactos negativos del evento. De forma general, las medidas son propuestas por especialistas del CEAC, los cuales tienen mayor experiencia con casos de FANs entre las instituciones ambientales, y por personal del CPHEM, máxima institución reguladora de higiene y epidemiología en la provincia. Tales datos serán presentados a las autoridades del Gobierno, que determinará las acciones por seguir. El gobierno provincial o municipal (según el alcance y

la magnitud del evento) será la entidad encargada de ejecutar las medidas propuestas. Una vez implementadas las medidas de mitigación, se debe mantener un monitoreo periódico del evento cuya frecuencia dependerá del tipo de floración ocurrida, lo cual será determinado por especialistas del CEAC y del CPHEM. Este monitoreo periódico es preciso mantenerlo hasta que la floración desaparezca. A medida que se vaya monitoreando el evento, nuevas medidas o acciones correctivas podrán ir proponiéndose al Gobierno, así como la modificación de las ya implementadas.

Si la especie causante de una floración no tiene efecto demostrado en la salud, el CPHEM no participaría en la gestión directa del evento; sin embargo, los canales de comunicación entre ambas entidades (CEAC-CPHEM) deben mantenerse mientras perdure el estado de alerta. En estos casos, el CITMA sería el responsable de la respuesta a lo ocurrido y desde la Delegación Territorial se enviará toda la información necesaria a las autoridades locales para que se implementen medidas de mitigación.

Una vez terminado el estado de alerta tras la ocurrencia de un evento de FANs es importante hacer una evaluación de sus impactos en la salud pública y el ecosistema, así como del funcionamiento práctico del sistema propuesto. Esto permitirá definir el alcance real del acontecimiento en la

sociedad y evaluar la relevancia de las medidas de mitigación aplicadas. Por otra parte, posibilitará perfeccionar el propio sistema de gestión, a partir de las experiencias adquiridas en cada evento de FAN.

Aplicación práctica del sistema de vigilancia y gestión de eventos de FANs en la provincia de Cienfuegos

Durante un evento de FANs en el territorio, ocurrido el 7 de octubre de 2021, la presente propuesta de sistema se implementó de forma práctica. La puesta en práctica del sistema permite la evaluación de cada una de sus etapas y la identificación de posibles mejoras en los mecanismos de comunicación intersectoriales, por lo que se considera que el sistema sugerido estará en constante perfeccionamiento. En este caso, el sistema se activó, tras la detección por instituciones de Salud Pública, de un brote de intoxicaciones dérmicas en bañistas (muchos de ellos niños) en áreas de baño de la bahía de Cienfuegos. La comunicación de las instituciones de salud implicadas (fundamentalmente, el Hospital pediátrico de la ciudad) al CPHEM fue casi inmediata, lo cual forma parte del Sistema de Vigilancia de Salud de la provincia y para lo que se utilizan canales comunicativos bien establecidos y prácticos (L. Rojas-Lantigua, comunicación personal, 17 de marzo de 2022). El contacto entre el CPHEM y el CITMA se dio tras un periodo aproximado de 24 h, en este caso, mediante

llamada telefónica directa entre los directores de cada entidad. Es de notar que los eventos de FANs en las áreas de baño de la ciudad de Cienfuegos son relativamente nuevos, han ido intensificándose en los últimos años (Moreira-González *et al.* 2021), pero aún no existe una conciencia social sobre el peligro que esto trae consigo, a pesar de que se han realizado algunas actividades como exposiciones y talleres al respecto. Por otro lado, Cienfuegos es una ciudad turística, por lo que muchos foráneos suelen desconocer la existencia de tales eventos.

Tras una reunión de emergencia, el CITMA, a través del CEAC y en conjunto con el CPHEM, realizó el muestreo en las áreas de baño reportadas el 8 de octubre y los resultados estuvieron listos en 24 h, por lo que se redactó y envió al Gobierno el informe conjunto CITMA-Salud Pública, en un tiempo total de 48 h, hecho que posibilitó la toma y aplicación de las acciones de mitigación de manera rápida y precisa. En este caso, el suceso de FANs estuvo bien localizado y no ocupaba una gran extensión, por lo que prohibir el acceso a las áreas afectadas y mantener la vigilancia clínica, epidemiológica y ambiental fueron las medidas fundamentales acordadas. Esto limitó los casos de intoxicaciones dérmicas en el área durante la presencia del florecimiento.

Los tramos costeros visiblemente afectados por el florecimiento los

constituían la playa conocida como “Círculo Juvenil” y el tramo costero aledaño a la sede de la delegación territorial del CITMA, conocido como “Muelle de la T”. En el área “Círculo Juvenil”, se observaron cambios de color del agua (color carmelita-naranja) en los extremos de la playa más cercanos a la orilla, con una extensión aproximada de 20 metros a lo largo de la línea costera y 10 metros hacia el mar. En el tramo costero del “Muelle de la T”, las modificaciones de color del agua (naranja) fueron más intensas, aunque la extensión de la floración fue menor, aproximadamente 6 metros a lo largo de la línea costera y 5 metros hacia el mar.

Descripción de la floración

Los resultados obtenidos tras el muestreo inicial arrojaron que se trataba de un florecimiento causado por el dinoflagelado tóxico *Vulcanodinium rugosum*, con una concentración media de 7.40×10^5 cél. L⁻¹ en “Círculo Juvenil” y de 2.67×10^6 cél. L⁻¹ en el tramo costero del “Muelle de la T”. Se

observó la presencia de otros géneros de dinoflagelados como *Prorocentrum micans* Ehrenberg y *P. rathymum* A. R. Loeblich III, Sherley & R. J. Schmidt, en el orden de 10^3 cél. L⁻¹. Respecto a los parámetros físico-químicos del agua, la salinidad registró un valor de 28.28 UPS y la temperatura de 30°C. Las concentraciones de nutrientes (P-PO₄, N-NO₂, N-NO₃, N-NH₄) fueron bajas de forma general con valores siempre inferiores a 1.61 µMol/L (Cuadro 2).

Elaboración de informe conjunto

Con los resultados iniciales obtenidos, se conformó un informe conjunto entre CITMA y Salud Pública que fue enviado a las autoridades del gobierno provincial. Este propuso como medidas de mitigación el cierre de las áreas de baño afectadas y mantener la vigilancia clínica, epidemiológica y ambiental, para decidir nuevos mecanismos protectores en conjunto con la máxima dirección de la provincia. Por su parte, el Gobierno aprobó lo propuesto y autorizó su implementación inmediata.

Cuadro 2. Resultados de los análisis de calidad del agua en el área afectada por el evento de FANs ocasionado por el dinoflagelado *Vulcanodinium rugosum* en octubre de 2021, en la bahía de Cienfuegos

Table 2. Results of water quality analyses in the area affected by the HABs event caused by the dinoflagellate *Vulcanodinium rugosum* in October 2021, in Cienfuegos Bay

Indicadores	pH (u)	T (°C)	Sal. (UPS)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Sat OD (%)	P-PO ₄ (µMol/L)	N-NO ₂ (µMol/L)	N-NO ₃ (µMol/L)	N-NH ₄ (µMol/L)
Valores	7.51	30	28.28	1.6	2.2	113	< 1.61	< 0.36	< 1.0	< 0.71

Además, los medios de comunicación locales como la radio y la televisión informaron sobre la incidencia del evento. Las áreas de recreación/turismo, empresas y comercios establecidos en las cercanías de las áreas de baño afectadas fueron alertados y contribuyeron con la difusión de la alerta entre los posibles bañistas que acudían al lugar, aún no enterados de la presencia del evento de FANs. La ocurrencia de fuertes lluvias en la provincia solo tres días después de detectar la floración de *V. rugosum* incitó su disipación rápida y, con ello, el CITMA estableció el fin del estado de alerta, tras un muestreo de comprobación realizado posterior a las lluvias. Con el estado de alerta finalizado, las autoridades del Gobierno levantaron las medidas impuestas sobre el cierre de las áreas de baño afectadas.

DISCUSIÓN

Este trabajo aporta una herramienta para la gestión con carácter integrador de un importante problema ambiental, económico y social, el cual se ha intensificado en todo el planeta (Wells *et al.* 2015). El sistema de vigilancia y gestión de eventos de FANs propuesto fue elaborado teniendo en cuenta el enfoque de Manejo Integrado de Zonas Costeras y se consideraron los principios que lo rigen, orientan y caracterizan. Uno de estos principios

reflejados es el comanejo, pues se ha reconocido que la zona costera no puede ser gestionada exitosamente sin la cooperación y participación de los usuarios del recurso (Abad-Salazar *et al.* 2015). Según Miranda-Vera *et al.* (2019), en la provincia se ha evidenciado dicho principio en otras experiencias relacionadas con el cambio climático y la contaminación, donde se ha integrado a los integrantes de las comunidades en la gestión de los recursos costeros. El sistema aquí sugerido incluye y confiere un peso importante a esta inclusión comunitaria en todas sus etapas, aunque su participación más activa sería durante la vigilancia ambiental, dado que los usuarios de los cuerpos de agua intervendrían en la generación de los posibles datos de riesgo y el estado de alerta (Borbor-Córdova *et al.* 2018).

Principios del MIZC se ven reflejados claramente en el sistema propuesto, entre ellos, la integración intersectorial, ya que se prevé la participación de diferentes sectores de uso económico, político y social en la zona costera y la armonización entre estos, al responder a un potencial evento de FAN ocurrido en el territorio provincial. Actualmente, en la práctica se ha logrado una sinergia muy trascendente entre los sectores ciencia (CITMA), salud pública y gobierno provincial, con resultados muy favorables en la gestión de los últimos sucesos de FANs ocurridos en la provincia. Sin

embargo, falta aún trabajar en la inclusión más activa de otros sectores claves como las comunidades, la pesca, el turismo y la prensa local. La integración del conocimiento científico es también un principio del MIZC, fundamental en el estudio de las FANs y en su gestión (Loeffler *et al.* 2021). Este tipo de integración permite garantizar una investigación con enfoque inter- y multidisciplinario, como una base de la capacitación holística de profesionales en el manejo de eventos de FAN e igual como eje para el conocimiento más completo y compuesto de la realidad costera (Abad-Salazar *et al.* 2015).

Durante la gestión de un evento de FANs y con el objetivo de mitigar sus posibles efectos perjudiciales en las comunidades, la divulgación y socialización a través de la prensa es fundamental. Se puede generar un estado de alerta en la población, utilizando los distintos medios de comunicación existentes (radio, televisión, redes digitales, etc.), con el propósito de evitar el contacto directo de los habitantes y usuarios costeros con la floración algal (Rashidi *et al.* 2021). Por otra parte, las autoridades del Gobierno, a partir de la información generada desde la etapa de vigilancia y el monitoreo directo, son las encargadas de implementar medidas de control, deteniendo o limitando el uso de cuerpos de agua en la zona costera, así como ejecutando otras medidas, según la naturaleza del evento ocurrido (Grattan *et al.* 2016).

La divulgación del acontecimiento al público debe ser consistente, en especial cuando se trata de una especie perjudicial para la salud. Para ello, será fundamental la prensa provincial y deben utilizarse todos los canales de comunicación necesarios que permitan llegar a la población, con el fin de aumentar su conocimiento y comprensión del riesgo asociado al evento en cuestión (Rashidi *et al.* 2021). A los esfuerzos de la prensa se unen los propios habitantes de la zona, quienes pueden apoyar en difundir la información desde las comunidades o mediante el uso de redes digitales. Debido a ello, es sustancial potenciar la participación de este sector en todas las etapas del sistema propuesto. En la provincia de Cienfuegos, la prensa local e incluso nacional ha constituido un apoyo clave en la divulgación de los eventos de FAN y en las actividades que se realizan para su gestión en la provincia (Agencia Cubana de Noticias, 2020; Barbieri-López, 2021; Ojeda-Cabrera, 2022).

Los eventos de floraciones algales nocivas muchas veces ocurren de manera espontánea y pueden transcurrir en cualquier área con las condiciones adecuadas para el desarrollo explosivo de alguna especie. Debido a esto, la mayoría de las ocasiones es imposible predecir dónde pudiera ocurrir un evento de FANs (Griffith & Gobler, 2020); por lo tanto, se debe mantener una constante vigilancia de los cuerpos

de agua, fundamentalmente de aquellos que por sus características ambientales sean más propensos a la ocurrencia de una floración. Por otra parte, la vigilancia epidemiológica posibilita detectar brotes o casos que desde un enfoque epidemiológico podrían estar conectados a un evento de FANs (Berdalet *et al.* 2017; Grattan *et al.* 2018). Tomando en cuenta lo anterior, resulta relevante la integración entre los diferentes sectores clave de la vigilancia y el manejo de las FANs en la provincia de Cienfuegos, como son los ministerios de Ciencia y Salud Pública.

La etapa de vigilancia ambiental del sistema propuesto en este trabajo incluye la colaboración de las comunidades y empresas vinculadas al uso constante de los recursos en las zonas costeras. La provincia de Cienfuegos cuenta, en su sistema de salud pública (MINSAP), con diferentes programas de vigilancia de salud. En estos programas, existen enfermedades relacionadas con las FANs que, según el Sistema de Información Estadística del MINSAP, son de declaración obligatoria por las instituciones de salud, entre ellas, la ciguatera y brotes de intoxicaciones dérmicas relacionados con bañistas (L. Rojas-Lantigua, comunicación personal, 15 de febrero de 2022).

En la provincia de Cienfuegos, los principales eventos de FANs ocurridos se dividen en afectaciones a la salud pública (ej.: dermatitis e intoxicación por ciguatera), con los

respectivos daños colaterales a la sociedad (ej.: el turismo), y afectaciones a la fauna y biodiversidad marina, que inciden negativamente en los recursos pesqueros del territorio. Cada evento de FANs constituye una experiencia que permite ir perfeccionando los mecanismos de coordinación y respuesta conjunta de todos los sectores, en aras de armonizar la gestión integrada en la provincia. El sistema propuesto en este trabajo sienta las bases para la gestión intersectorial de los eventos de FANs, pero puede ir actualizándose y adaptándose a la realidad contextual de cada territorio de Cienfuegos u otro del país. De igual forma, se deben realizar talleres de intercambio, así como brindar educación ambiental sobre la problemática de las FANs si es que se pretende la participación e inclusión objetiva de los diferentes sectores relacionados con el uso de las zonas costeras en el sistema (Berdalet *et al.* 2017).

Vinculado con la aplicación práctica del sistema de vigilancia ante un evento de FAN (dermatitis) ocurrido en octubre de 2021, se pudo corroborar a *V. rugosum* como el agente causante. Esta especie fue responsable de un brote de intoxicación en bañistas, en el 2015, con al menos 60 hospitalizaciones, y desde entonces su presencia ha sido más frecuente en los últimos años. La especie se ha asociado a la producción de pinnatoxinas y portiminas, lo que se cree está ligado a las

intoxicaciones en los bañistas (Moreira-González *et al.* 2021).

Los resultados relacionados con la calidad del agua obtenidos durante este evento concuerdan con las condiciones estuarinas que caracterizan la bahía para ese periodo del año (Seisdedo *et al.* 2005). La salinidad de 28.28 ups fue inferior al valor detectado en el evento del verano del 2015 (34.9-35.4 UPS) (Moreira-González *et al.* 2021); sin embargo, se acerca a los valores de salinidad de crecimiento óptimo obtenidos por Abadie *et al.* (2016) en cepas de esta especie tomadas en el mar Mediterráneo (30-40 UPS). A pesar de que las concentraciones de nutrientes fueron bajas de manera general, *V. rugosum* es capaz de asimilar rápidamente las formas orgánicas de nitrógeno en el ambiente (Abadie *et al.* 2015); además, las concentraciones de amonio pudieron haber estimulado el desarrollo de la especie. La temperatura elevada (30°C) de la superficie del agua también pudo influir en el crecimiento explosivo de la especie (Moreira-González *et al.* 2021).

CONCLUSIONES

La aplicación práctica de un sistema integrado de vigilancia y gestión de eventos de FANs en ecosistemas marinos constituye uno de los primeros pasos, en la provincia de Cienfuegos, para la armonización intersectorial en la respuesta de eventos

de FANs marinos. Durante el presente estudio, quedó evidenciado que la participación integrada de todos los sectores relacionados con las zonas costeras es esencial para el funcionamiento del sistema de vigilancia y gestión de eventos de FANs aquí propuesto, lo que se ha evidenciado en otras experiencias vinculadas al cambio climático y la contaminación. Esto hace que resulte fundamental establecer canales de comunicación funcionales para coordinar la respuesta conjunta a dichos eventos en la provincia. La aplicación continua de tal sistema de vigilancia y gestión en futuros eventos de FANs permitirá mejorar los mecanismos de acción en cada una de sus etapas e incorporar otros actores sociales en la vigilancia y respuesta a ellos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el proyecto territorial del CITMA “Floraciones algales nocivas (FANs) en las principales playas de la provincia de Cienfuegos, centro-sur de Cuba (FANsPlayas)”, el proyecto sectorial de la AENTA “Fortaleciendo la vigilancia de FANs y la evaluación de riesgo por ciguatera en Cuba, a través del uso y desarrollo de técnicas isotópicas y nucleares (MICATIN-FANs)” y el proyecto regional RLA7025 del Organismo Internacional de Energía Atómica. Los autores agradecen el

apoyo del personal del Centro de Estudios Ambientales y del Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología de la provincia de Cienfuegos, implicados en la respuesta a eventos de FANs ocurridos durante la realización del trabajo. Se agradece, también, la labor de los evaluadores en la confección de la versión final del documento.

REFERENCIAS

Abad-Salazar, M. A., Beatón-Soler, P. A., Angulo-Valdés, J. A., Cabrera-Hernández, J. A., Carballo-Díaz, Y., Castellanos-González, M. E., ... & Monzón-Bruguera, Y. (2015). *Manejo Integrado de Zonas Costeras en Cuba. Estado actual, retos y desafíos*. Cuba. Imagen Contemporánea.

Abadie, E., Kaci, L., Berteaux, T., Hess, P., Sechet, V., Masseret, E., ... & Laabir, M. (2015). Effect of nitrate, ammonium and urea on growth and pinnatoxin G production of *Vulcanodinium rugosum*. *Mar. Drugs*, 13(9), 5642-5656. <https://doi.org/10.3390/md13095642>

Abadie, E., Muguet, A., Berteaux, T., Chomé-rat, N., Hess, P., D'Orbecastel, E. R., ... & Laabir, M. (2016). Toxin and growth responses of the neurotoxic dinoflagellate *Vulcanodinium rugosum* to varying temperature and salinity. *Toxins*, 8(5), 1-18. <https://doi.org/10.3390/toxins8050136>

AENTA. Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada. (2021). Instruyen a pescadores de Cienfuegos contra las floraciones algales nocivas. <https://aenta.cu/instruyen-a-pescadores-de-ci->

[enfuegos-contra-las-floraciones-algales-nocivas](#)

Agencia Cubana de Noticias. ACN. (2020). Cienfuegos por el control de floraciones algales nocivas. <http://www.acn.cu/medio-ambiente/68935-cienfuegos-por-el-control-de-floraciones-algales-nocivas>

Anderson, D. M., Boerlage, S. F. E. & Dixon, M. B. (2017). *Harmful Algal Blooms (HABs) and Desalination: A guide to impacts, monitoring and management*. Francia. Sin editorial.

Anderson, D. M., Fensin, E., Gobler, C. J., Hoeglund, A. E., Hubbard, K. A., Kullis, D. M., ... & Trainer, V. L. (2021). Marine harmful algal blooms (HABs) in the United States: History, current status and future trends. *Harmful Algae*, 102(101975), 1-37. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.101975>

Barbieri-López, D. (2021). Desarrollan proyecto contra floración de algas nocivas en la Bahía de Cienfuegos. <http://www.5septiembre.cu/desarrollan-proyecto-floracion-algas-nocivas-la-bahia-cienfuegos/>

Barcia-Sardiñas, S., Castro-Conrado, Y., Caballero-Reyes, E., Angulo-Romero, R., Cordero-López, R., Delgado-Álvarez, R. & Viera-González, E. (2017). Estudio preliminar de la isla de calor estival de la ciudad de Cienfuegos y su relación con la forma urbana. *Rev. Cubana Meteorol.*, 23(3), 276-289.

Berdalet, E., Tester, P. A., Chinain, M., Fraga, S., Lemée, R., Litaker, W., ... & Zingone, A. (2017). Harmful algal blooms in benthic systems: Recent progress and future research. *Oceanography*, 30(1), 36-45. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2017.108>

Borbor-Córdova, M. J., Pozo-Cajas, M., Cedenno-Montesdeoca, A., Saltos, G. M., Kislik, C., Espinoza-Celi, M. E., ... &

- Torres, G. (2018). Risk perception of coastal communities and authorities on harmful algal blooms in Ecuador. *Front. Mar. Sci.*, 5, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00365>
- Carrier, D. & Carpenter, J. H. (1966). Comparison and evaluation of the Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater. *Jour. Mar. Res.*, 24(3), 286-318.
- Castillo-Oliva, C. S. & Barcia-Sardiñas, S. (2015). Sensaciones térmicas en la provincia Cienfuegos (Cuba). *Invest. Geográf.*, 64, 25-35. <https://doi.org/10.14198/ingeo2015.64.02>
- Cicin-Sain, B., Knecht, R. W., Jang, D. & Fisk, G. W. (1998). *Integrated Coastal and Ocean Management. Concept and Practices*. EE. UU. Island Press.
- Cortés-Cortés, M. E. & Iglesias-León, M. (2004). *Generalidades sobre Metodologías de la Investigación*. México. Universidad Autónoma del Carmen.
- Delcourt, N., Lagrange, E., Abadie, E., Fessard, V., Frémy, J. M., Vernoux, J. P., ... & Mattei, C. (2019). Pinnatoxins' deleterious effects on cholinergic networks: From experimental models to human health. *Mar. Drugs*, 17, 425, 1-13. <https://doi.org/10.3390/md17070425>
- Díaz-Asencio, L., Clausing, R. J., Vandersea, M., Chamero-Lago, D., Gómez-Batista, M., Hernández-Albernas, J. I., ... & Bottein, M.-Y. D. (2019). Ciguatera occurrence in food-web components of a Cuban coral reef ecosystem: Risk-assessment implications. *Toxins*, 11(12), 1-20. <https://doi.org/10.3390/toxins11120722>
- Espinoza, J., Amaya, O. & Quintanilla, R. (2013). *Atlas de fitoplancton marino* (1.ª ed.). El Salvador. LABTOX-UES.
- Giussani, V., Asnagli, V., Pedroncini, A. & Chiantore, M. (2017). Management of harmful benthic dinoflagellates requires targeted sampling methods and alarm thresholds. *Harmful Algae*, 68, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2017.07.010>
- Gómez-Luna, L., Zapata-Palanqué, A., Corona-Ochoa, Z. C., Álvarez-Arencibia, Y., Bouza-Alonso, J. A. & Eyriz-Mazar, A. (2021). Implementación de un protocolo de gestión de riesgo por presencia de ficotoxinas en la laguna de Baconao, Santiago de Cuba. *Bol. Investigaciones Mar. Cos.*, 50(1), 43-78. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemmar.2021.50.1.980>
- Grattan, L. M., Holobaugh, S. & Morris, J. G. (2016). Harmful algal blooms and public health. *Harmful Algae*, 57, 2-8. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.05.003>
- Grattan, L. M., Schumacker, J., Reich, A. & Holobaugh, S. (2018). Public Health and Epidemiology. In S. E. Shumway, J. M. Burkholder & S. L. Morton, (eds.), *Harmful Algal Blooms: A Compendium Desk Reference* (pp. 355-376). EE. UU. Wiley-Blackwell.
- Griffith, A. W. & Gobler, C. J. (2020). Harmful algal blooms: A climate change co-stressor in marine and freshwater ecosystems. *Harmful Algae*, 91, 101590. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.03.008>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6.ª ed.). México. McGrawHill.
- Hoppenrath, M. (2017). Dinoflagellate taxonomy - a review and proposal of a revised classification. *Mar. Biodivers.*, 47(2), 381-403. <https://doi.org/10.1007/s12526-016-0471-8>
- Loeffler, C. R., Tartaglione, L., Friedemann, M., Spielmeyer, A., Kappenstein, O. & Bodi, D. (2021). Ciguatera mini review: 21st century environmental challenges and the interdisciplinary research efforts rising to meet them.

- Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18(6), 1-27. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063027>
- Miranda-Vera, C. E., Ramos-Palenzuela, M., Alomá-Oramas, R. M. & Castellanos-González, M. E. (2019). Percepción social del cambio climático. Estudio en comunidades costeras de la provincia de Cienfuegos. *Rev. Cub. Met.*, 25(1), 1-20.
- Moore, R. E., Ohtani, I., Moore, B. S., De Koning, C. B., Yoshida, W. Y., Runnegar, M. T. C. & Carmichael, W. W. (1993). Cyanobacterial toxins. *Gazz. Chim. Ital.*, 123, 329-336.
- Moreira-González, A. (2010). Dinoflagellates blooms in eutrophic zones of Cienfuegos Bay, Cuba. *Harmful Algae News*, 41, 1-2.
- Moreira-González, A., Comas-González, A., Valle-Pombrol, A., Seisdedo-Losa, M., Hernández-Leyva, O., Fernandes, L. F., ... & Mafra Jr., L. L. (2021). Summer bloom of *Vulcanodinium rugosum* in Cienfuegos Bay (Cuba) associated to dermatitis in swimmers. *Scien. Total Environ.*, 757(143782), 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143782>
- Moreira-González, A., Comas, A., Valle, A., Sosa, D. & Muñoz, A. (2016). Cochlo-dinium polykrikoides in southern Cuba during anomalous hot dry seasons. *Harmful Algae News*, 54, 3-4.
- Moreira-González, A., Seisdedo-Losa, M., Muñoz, A. & Comas-González, A. (2014). Spatial and temporal distribution of phytoplankton as indicator of eutrophication status in the Cienfuegos Bay, Cuba. *J. Integr. Coastal Zone Manage.*, 14(4), 597-609. <https://doi.org/10.5894/rgci506>
- Ojeda-Cabrera, M. (2022). Analiza Proyecto Territorial Floraciones Algas Nocivas en playas de Cienfuegos. <https://www.radiorebelde.cu/noticia/analiza-proyecto-territorial-floraciones-algas-nocivas-en-playas-de-cienfuegos-audio--20220311/>
- Omura, T., Iwataki, M., Borja, V. M., Haruyoshi, T. & Fukuyo, Y. (2013). *Marine Phytoplankton of the Western Pacific*. Japan. Nippon Suisan Gakkaishi.
- Ørngreen, R. & Levinsen, K. (2017). Workshops as a research methodology. *Electron. J. E-Learn.*, 15(1), 70-81.
- Randall, J. E. (2005). Review of clupeo-toxism, an often fatal illness from the consumption of clupeoid fishes. *Pac. Scien.*, 59(1), 73-77. <https://doi.org/10.1353/psc.2005.0013>
- Rashidi, H., Baulch, H., Gill, A., Bharadwaj, L. & Bradford, L. (2021). Monitoring, Managing, and Communicating Risk of Harmful Algal Blooms (HABs) in Recreational Resources across Canada. *Environ. Health Insights.*, 15(38), 570-586. <https://doi.org/10.1177/11786302211014401>
- Reguera, A. R., Moreira, A. & Méndez, S. B. (2011). *Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas*. Austria. IAEA.
- Reguera, B., Alonso, R., Moreira-González, A., Méndez, S. & Dechraoui-Bottein, M. (2016). *Guide for designing and implementing a plan to monitor toxin-producing microalgae* (2.^a ed.). Austria. UNESCO & IAEA.
- Seisdedo, M., Castellanos, M. E. & Muñoz, A. (2005). Propuesta de integración de los resultados del programa de monitoreo hidrológico de la bahía de Cienfuegos al manejo integrado de las zonas costeras (MIZC). *Rev. Invest. Mar.*, 26(1), 73-78.
- Sengco, M. (2009). Mitigation of effects of harmful algal blooms. In E. S. Sandra & E. Gary (eds.), *Shellfish Safety and Quality* (pp. 175-199).

- EE. UU. Woodhead Publishing Series in Food Science. <https://doi.org/10.1533/9781845695576.2.175>
- Tartaglione, L., Dell'Aversano, C., Mazzeo, A., Forino, M., Wieringa, A. & Ciminiello, P. (2016). Determination of Palytoxins in Soft Coral and Seawater from a Home Aquarium. Comparison between Palythoa- and Ostreopsis-Related Inhalatory Poisonings. *Environ. Scien. Technol.*, 50(2), 1023-1030. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05469>
- Trainer, V. L. (Ed.) (2020). *GlobalHAB: Evaluating, Reducing and Mitigating the Cost of Harmful Algal Blooms: A Compendium of Case Studies*. Canadá. Pices Scientific Report.
- Tester, P. A., Litaker, R. W. & Berdalet, E. (2020). Climate change and harmful benthic microalgae. *Harmful Algae*, 91(101655). <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101655>
- UNEP. (1991). *Standard chemical methods for marine environmental monitoring*. Austria. IOC & IAEA.
- UNESCO. (1983). *Chemical methods for use in marine environmental monitoring*. Austria. IOC & IAEA.
- Van Dolah, F. M., Roelke, D. & Greene, R. M. (2001). Health and ecological impacts of harmful algal blooms: Risk assessment needs. *Hum. Ecol. Risk Assess.*, 7(5), 1329-1345. <https://doi.org/10.1080/20018091095032>
- Wells, M. L., Trainer, V. L., Smayda, T. J., Karlson, B. S. O., Trick, C. G., Kudela, R. M., ... & Cochlan, W. P. (2015). Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future. *Harmful Algae*, 49, 68-93. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.07.009>
- Zohdi, E. & Abbaspour, M. (2019). Harmful algal blooms (red tide): a review of causes, impacts and approaches to monitoring and prediction. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 16(3), 1789-1806. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2108-x>

Capacidad antioxidante de bacterias lácticas aisladas de peces e invertebrados marinos de la provincia de Chubut, Patagonia-Argentina

Antioxidant capacity of lactic acid bacteria isolated from marine fish and invertebrates of the province of Chubut, Patagonia, Argentina

Franco M. Sosa^{1,2}, Romina B. Parada^{1,2}, María A. Sánchez-Cabrera¹,
Emilio R. Marguet¹ y Marisol Vallejo^{1*}



RESUMEN

La actividad antioxidante de las bacterias ácido lácticas (BAL) ha sido estudiada en profundidad en cepas aisladas de organismos terrestres, alimentos fermentados y sin procesar. Sin embargo, esta información en aislamientos de origen marino aún está siendo determinada. Tal característica presenta un interés particular, debido a su uso potencial en alimentos funcionales. En este trabajo, se estudió la capacidad antioxidante de 16 BAL bacteriocinogénicas provenientes de organismos marinos de la costa del Chubut (periodo 2010-2022), mediante ensayos *in vitro* e *in vivo*. Se evaluó la capacidad antioxidante *in vitro* por medio de la reducción de 2,2-difenil-1-picrihidrazilo (DPPH), actividad antioxidante reductora de iones cúpricos (CUPRAC) y barrido de radicales oxidrilos, empleando células sin lisar. Se utilizó *Saccharomyces cerevisiae* como modelo biológico eucariota para valorar el efecto protector *in vivo*. Los resultados obtenidos por secuestro de radicales DPPH exhibieron valores entre 15-37.5%; el ensayo de secuestro de radicales oxidrilos mostró valores entre 13.3-61.9% y el método CUPRAC los valores variaron entre 0.223-0.551, equivalentes a mmol de ácido ascórbico por ml de suspensión celular. El efecto protector de las BAL en la supervivencia de *S. cerevisiae* presentó valores entre 36-90%. No fue posible establecer relaciones entre los valores obtenidos por distintos métodos o entre miembros del mismo género o especie; por ello, la capacidad antioxidante podría considerarse una característica dependiente de la cepa. Los resultados sugieren que la capacidad antioxidante de BAL bacteriocinogénicas de origen marino podría usarse como un carácter metabólico de selección con potencial biotecnológico en el desarrollo de alimentos funcionales.

- 1 Laboratorio de Biotecnología Bacteriana, Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Trelew, Chubut, Argentina. soltrelew@gmail.com*; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4393-3615>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5093-7796>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1089-9625>; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0036-0903>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9790-8511>
- 2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas Buenos Aires, Argentina.

Palabras clave: actividad antioxidante, alimentos funcionales, *Enterococcus*, *Lactococcus*, ambiente marino.



ABSTRACT

The antioxidant activity of lactic acid bacteria (LAB) has been studied in depth in strains isolated from terrestrial organisms and fermented or unprocessed foods; however, information on isolates of marine origin is still being determined. This feature is of particular interest due to its potential use in functional foods in this work. The antioxidant capacity of 16 bacteriocinogenic LAB isolated from marine organisms from the Chubut coast (2010-2022 period) was studied with *in vivo* and *in vitro* assays. The *in vitro* antioxidant capacity was assessed by reduction of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), cupric ion-reducing antioxidant capacity (CUPRAC), and hydroxyl radical scavenging in unlysed cells. *Saccharomyces cerevisiae* was used as a eukaryotic biological model to evaluate the protective effect *in vivo*. The antioxidant capacity results from the DPPH radical scavenging test exhibited values between 15-37.5%, while hydroxyl radical scavenging showed values between 13.3-61.9%, and, for the CUPRAC method, values varied between 0.223-0.551, equivalent to mmol of ascorbic acid per ml of cellular suspension. The LAB protective effect on the survival rate of *S. cerevisiae* displayed results between 36-90%. No relationship was established between the values obtained with the different methods or between members of the same genus or species; consequently, the antioxidant behavior could be considered strain-depend. Results suggest that the antioxidant capacity of bacteriocinogenic LAB of marine origin can be used as a metabolic selection trait with biotechnological potential in the development of functional foods.

Keywords: antioxidant activity, functional foods, *Enterococcus*, *Lactococcus*, marine environment.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, las características fisiológicas de la biota que habita el ambiente marino han despertado interés, debido a su potencial uso biotecnológico en diversas áreas (Feng *et al.* 2020; Kim *et al.* 2021). En Argentina, el ecosistema marino presenta no solo una gran extensión, sino también una alta biodiversidad. Sin embargo, los microorganismos que habitan estos ecosistemas han sido poco estudiados

y su potencial biotecnológico, escasamente explorado (Dionisi *et al.* 2012).

Las bacterias ácido lácticas (BAL) se han utilizado para elaborar y conservar alimentos desde el comienzo de la civilización, por la capacidad de producir ácidos orgánicos que logran su preservación, así como en el desarrollo de características organolépticas. Las BAL pueden presentarse en forma fortuita como microbiota natural de los alimentos o incorporarse de manera controlada en fermentaciones industriales como

cultivos iniciadores (Łepecka *et al.* 2023). El estudio en profundidad del metabolismo de las BAL ha permitido seleccionar cepas con características funcionales para su aplicación en alimentos (Kuda *et al.* 2014; Lin *et al.* 2018). El término “alimento funcional” se introdujo por el Gobierno de Japón a mediados de 1980 (Granato *et al.* 2020) y se define como productos utilizados como parte de una dieta normal con efectos más allá de sus funciones nutricionales básicas. El mercado de alimentos funcionales está en continuo crecimiento, en relación con productos dirigidos a la salud gastrointestinal, enfocado, particularmente, en los prebióticos y probióticos (Annuziata & Vecchio, 2013).

El desbalance entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) y/o radicales libres y la dificultad de su eliminación por sistemas antioxidantes genera el estrés oxidativo de un organismo (Łepecka *et al.* 2023). Las modificaciones por reacciones de oxidación que sufren el ADN, proteínas, lípidos y otras moléculas pequeñas por ROS desempeñan un papel importante en el desarrollo de enfermedades comunes y afecciones degenerativas relacionadas con la edad (Wen *et al.* 2013; Kuda *et al.* 2014).

Durante los últimos años, ha tomado un especial interés la búsqueda de nuevos antioxidantes que sean seguros para su uso en alimentos; en particular las BAL y sus metabolitos se

han reconocido como fuentes efectivas. La mayoría de las BAL tiene sistemas que eliminan los radicales libres de oxígeno, reducen su acumulación e incluso previenen su formación en el intestino, disminuyendo el estrés oxidativo (Łepecka *et al.* 2023).

El litoral marino de la Argentina constituye una fuente de BAL, provenientes de distintos vertebrados e invertebrados, que exhiben propiedades biotecnológicas aplicables en la industria alimentaria, tales como actividad antimicrobiana (Marguet *et al.* 2011; Sosa *et al.* 2022), producción de bioemulsificantes (Gianni de Carvalho *et al.* 2019; Lara *et al.* 2020), características probióticas (Sequeiros *et al.* 2010), entre otras. A lo largo de los últimos años, se ha profundizado el estudio de la capacidad antioxidante de BAL provenientes de organismos terrestres y alimentos fermentados o sin procesar; no obstante, es escasa la información sobre cepas de origen marino. En el presente estudio, se evaluó la capacidad antioxidante *in vivo* e *in vitro* de cepas de BAL bacteriocinogénicas aisladas de invertebrados y peces marinos de la costa de la provincia de Chubut (Argentina), para su posterior selección como cultivos iniciadores en alimentos funcionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron 16 cepas de BAL provenientes de invertebrados y

peces marinos (Cuadro 1) de la costa de la provincia de Chubut (Patagonia-Argentina), sobre la base de su actividad antimicrobiana contra patógenos o contaminantes de alimentos de interés para la industria pesquera. Se utilizaron las cepas *Enterococcus hirae* 106, 107, 108, 463 y 471; *E. faecium* 135, 452, 459, 465 y 468, y *E. mundtii* 278 (Sosa *et al.* 2022); *Lactococcus lactis* Tw11, 12, 34 y 35 (Vallejo *et al.* 2009); y *E. mundtii* Tw56 (Schelegueda *et al.* 2015), pertenecientes al cepario del

Laboratorio de Biotecnología Bacteriana (LBB), Cátedra de Biología Celular y Molecular, FCNyCS, UNPSJB-Sede Trelew.

Para los experimentos subsiguientes, las cepas se cultivaron en 2 ml de caldo Man Rogosa Sharpe (MRS) (Biokar, Francia) a 35°C, durante 18 h sin agitación. Las células intactas se obtuvieron mediante centrifugación a 2 000 g durante 15 min y lavado con buffer PBS, procedimiento realizado dos veces. La capacidad antioxidante

Cuadro 1. Fuente y origen del aislamiento de las cepas de BAL seleccionadas para la realización del estudio

Table 1. Source and origin of isolation of selected LAB strains for the study

Cepa	Organismos	Origen	Lugar de colección
<i>Enterococcus mundtii</i> Tw56	<i>Odonthesthes platensis</i> (pejerrey panzón)	Intestino	Puerto Rawson (-43.33, -65.05)
<i>E. hirae</i> 106	<i>Hemiodema spectabilis</i> (pepino de mar)	Intestino	Playa Unión - Rawson (-43.31, -65.04)
<i>E. hirae</i> 107	<i>H. spectabilis</i>	Intestino	El sombrerito - Rawson (-43.25, -64.98)
<i>E. hirae</i> 108	Forcipulatida (estrella de mar)	Intestino	El sombrerito - Rawson
<i>E. faecium</i> 135	Forcipulatida	Intestino	Playa Unión - Rawson
<i>E. mundtii</i> 278	<i>H. spectabilis</i>	Intestino	Playa Unión - Rawson
<i>E. faecium</i> 452	<i>Mytilus edulis platensis</i> (mejilón)	Intestino	Golfo San Jorge - Comodoro Rivadavia (-45.84, -67.47)
<i>E. faecium</i> 459	<i>M. edulis platensis</i>	Intestino	Golfo San Jorge - Rada Tilly (-45.92, -67.55)
<i>E. hirae</i> 463	<i>M. edulis platensis</i>	Intestino	Golfo San Jorge - Comodoro Rivadavia
<i>E. faecium</i> 465	<i>M. edulis platensis</i>	Intestino	Playa Magagna - Rawson (-44.90, -65.60)
<i>E. faecium</i> 468	<i>M. edulis platensis</i>	Intestino	Caleta Carolina - Camarones (-44.90, -65.60)
<i>E. hirae</i> 471	<i>M. edulis platensis</i>	Intestino	Golfo San Jorge - Rada Tilly
<i>Lactococcus lactis</i> Tw11	<i>O. platensis</i>	Tegumento	Playa Magagna - Rawson
<i>L. lactis</i> Tw12	<i>O. platensis</i>	Tegumento	Playa Magagna - Rawson
<i>L. lactis</i> Tw34	<i>O. platensis</i>	Intestino	Playa Magagna - Rawson
<i>L. lactis</i> Tw35	<i>O. platensis</i>	Tegumento	Playa Magagna - Rawson

en células intactas se determinó *in vitro*, con la técnica de actividad antioxidante por reducción de 2,2-difenil-1-picrihidrazilo (DPPH), reacción de secuestro de radicales oxidrilos y la capacidad antioxidante reductora de iones cúpricos (CUPRAC). Además, se evaluó *in vivo* el efecto protector de las BAL contra el peróxido de hidrógeno, por medio del uso de *Saccharomyces cerevisiae* como modelo eucariota.

Actividad antioxidante por reducción de 2,2-difenil-1-picrihidrazilo (DPPH)

El ensayo de DPPH se realizó según lo propuesto por Zhang *et al.* (2013). Las células se resuspendieron con 2 ml de la solución de DPPH y se incubaron en oscuridad durante 30 min. Luego de centrifugar a 6 000 g durante 5 min, se midió la absorbancia de los sobrenadantes a 517 nm, utilizando un espectrofotómetro (Jenway 6405 UV/Vis). El porcentaje de reducción del DPPH se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Barrido de radicales DPPH (\%)} = \left(1 - \frac{A_{\text{muestra}}}{A_{\text{control}}}\right) \times 100$$

A_{control} (absorbancia de la solución de DPPH); y A_{muestra} (DPPH con suspensión celular).

Capacidad antioxidante reductora de iones cúpricos (CUPRAC)

Se resuspendieron las células en 3 ml de reactivo de trabajo compuesto de la siguiente manera: 1 ml neocuproina

(1 mg*ml en etanol⁻¹), 1.5 ml de buffer acetato de sodio (0.05 M y pH 6.0) y 0.5 ml de solución de CuCl₂ (0.01 M). Se incubó en oscuridad durante 1 h y se centrifugó a 12 000 g durante 2 min. Finalmente, se midió la absorbancia del sobrenadante a 450 nm y los resultados se expresaron como mmol equivalentes de ácido ascórbico por ml de suspensión (mmol ácido ascórbico*ml de suspensión⁻¹), según lo propuesto por Apak *et al.* (2004).

Actividad antioxidante por secuestro de radicales oxidrilos

Se realizó el ensayo, acorde con el protocolo establecido por Zhang *et al.* (2021), con algunas modificaciones: se resuspendieron las células en la mezcla de reacción compuesta por 1 ml de 1,10-fenantrolina (0.75 mM), 1 ml de FeSO₄ (0.75 mM) y 2 ml de buffer fosfato de sodio (0.2 M). Se adicionó 1 ml de H₂O₂ (0.01% v/v) al inicio de la reacción y se incubó durante 90 min a 37°C. Posteriormente, se centrifugó a 12 000 g durante 4 min y se midió la absorbancia a 508 nm. Se calculó el porcentaje de secuestro de radicales OH[•] mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Secuestro de radicales OH (\%)} = \frac{(A_{\text{muestra}} - A_{\text{blanco}}) \times 100}{(A_{\text{control}} - A_{\text{blanco}})}$$

A_{blanco} : absorbancia de la mezcla de reacción; A_{control} : absorbancia de la mezcla de reacción y peróxido de hidrógeno; y A_{muestra} : absorbancia de la mezcla de reacción y el cultivo celular.

Actividad antioxidante *in vivo*

Se evaluó el efecto protector de las BAL frente a la toxicidad oxidativa de H₂O₂ sobre *Saccharomyces cerevisiae* LTw3, a través del método propuesto por Lin *et al.* (2018) con modificaciones. El pellet de BAL se resuspendió en 2 ml de agua destilada estéril. Luego, se añadieron 600 µl de cada suspensión de BAL a 5 ml de agua destilada estéril y se calentó a 100°C durante 20 min. Cuando la temperatura descendió a un rango de 30-35°C, se agregaron 50 µl de un cultivo de *S. cerevisiae* LTw3 y se incubó durante 90 min. Seguidamente, se adicionaron 280 µl de H₂O₂ (50 mM). Se realizaron dos controles en ausencia de BAL: uno para evaluar el efecto del H₂O₂ sobre la viabilidad de los organismos (C2) y otro sin el agregado de H₂O₂ para valorar el crecimiento de la levadura (C1). Posterior a la adición de H₂O₂, las suspensiones se incubaron durante 90 min a 35°C. Después de este tratamiento, se tomaron 100 µl de las suspensiones y se diluyeron en 5 ml de agua destilada estéril. Se sembraron 100 µl de las diluciones en agar GPY (Difco, EE. UU.) y se incubaron durante 48 h a 35°C, para su posterior recuento. Con el fin de determinar la tasa de supervivencia de la levadura *S. cerevisiae*, se utilizó la siguiente relación:

$$\text{Tasa de supervivencia (\%)} = \frac{\text{Recuento de la muestra}^*}{\text{Recuento del control (C1)}} \times 100$$

*Cultivo de levaduras, con agregado de peróxido de hidrógeno y suspensión de BAL tratadas térmicamente descritas por Kuda *et al.* 2014.

Análisis estadístico

Todos los ensayos se realizaron de manera independiente y por triplicado. Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) y las diferencias significativas entre las medias se determinaron mediante el test de Tukey ($P \leq 0.05$). Se utilizó el *software* estadístico STATGRAPHICS Centurion XV (StatPoint Technologies, Inc. 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los microorganismos que presentan capacidad antioxidante, mediante la producción de metabolitos y/o presencia de componentes en su superficie celular, podrían disminuir o anular el efecto negativo de los ROS (Bhagwat & Annapure, 2019). En este estudio, se evaluaron diferentes ensayos *in vitro*. En el Cuadro 2, se observan los porcentajes de barrido de DPPH y radicales oxidrilos, comprendidos entre un 15-37.5% y 13.3-61.9%, respectivamente.

La evidencia de actividad antioxidante por el método de DPPH se observa por medio de la interacción de radicales libres con compuestos de carácter antioxidante donantes de protones, que ocasiona un descenso en la

Cuadro 2. Determinación de la actividad antioxidante de las células de BAL seleccionadas por métodos DPPH y secuestro de radicales oxidrilos

Table 2. Determination of antioxidant activity of LAB cells selected using the DPPH and scavenging of hydroxyl radicals methods

Cepas	Actividad antioxidante	
	Tasa de barrido de DPPH (%)	Tasa de barrido de radicales oxidrilo (%)
<i>Enterococcus mundtii</i> Tw56	21.2 ± 1.8 ^{bcd}	20.4 ± 2.6 ^{abc}
<i>E. hirae</i> 106	37.5 ± 5.1 ^f	28.4 ± 3.4 ^{cde}
<i>E. hirae</i> 107	17.2 ± 1.5 ^{abc}	40.9 ± 5.0 ^{ef}
<i>E. hirae</i> 108	36.8 ± 4.7 ^f	44.8 ± 5.6 ^f
<i>E. faecium</i> 135	26.4 ± 1.4 ^{de}	21.1 ± 5.1 ^{abcd}
<i>E. mundtii</i> 278	35.2 ± 4.5 ^f	22.7 ± 3.3 ^{bcd}
<i>E. faecium</i> 452	22.4 ± 1.1 ^{cd}	61.9 ± 4.2 ^g
<i>E. faecium</i> 459	36.0 ± 3.7 ^f	33.9 ± 1.8 ^e
<i>E. hirae</i> 463	20.1 ± 1.5 ^a	32.8 ± 5.1 ^{cde}
<i>E. faecium</i> 465	32.0 ± 1.6 ^{ef}	31.9 ± 6.3 ^e
<i>E. faecium</i> 468	23.1 ± 2.3 ^{cd}	21.7 ± 6.8 ^{bcd}
<i>E. hirae</i> 471	21.4 ± 0.6 ^{bcd}	29.0 ± 7.5 ^{de}
<i>Lactococcus lactis</i> Tw11	21.5 ± 2.9 ^{bcd}	13.3 ± 1.0 ^a
<i>L. lactis</i> Tw12	18.6 ± 2.0 ^{abc}	28.7 ± 7.9 ^{de}
<i>L. lactis</i> Tw34	15.7 ± 1.2 ^{ab}	17.4 ± 1.1 ^{ab}
<i>L. lactis</i> Tw35	25.2 ± 0.8 ^d	17.8 ± 3.1 ^{ab}

Los resultados obtenidos equivalen al promedio y a la desviación estándar de tres experimentos independientes. Las medias con diferentes letras indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

absorbancia con respecto al control (Bhagwat & Annapure, 2019). A partir de los resultados obtenidos de DPPH, se pueden agrupar las siguientes cepas, en función de su mayor capacidad antioxidante: *E. faecium* 459 y 465, *E. mundtii* 278 y *E. hirae* 106 y 108, todas ellas provenientes de invertebrados marinos, que presentan diferencias significativas con las demás cepas pertenecientes al género ($P \leq 0.05$). En el género *Lactococcus*, la cepa *L. lactis* Tw 35, proveniente del tegumento de *Odonthesthes platensis*, exhibe una mayor capacidad antioxidante ($P \leq$

0.05). Las restantes BAL evaluadas presentan variaciones en los resultados, independientemente de la cepa y el organismo de origen del aislamiento.

Resultados similares fueron obtenidos por Bhagwat & Annapure (2019), quienes evaluaron la actividad antioxidante por medio de la técnica de DPPH en cepas de *Enterococcus* de origen humano, con valores variables para las especies evaluadas. A diferencia de lo obtenido en este estudio, las cepas evaluadas por Rezaei et al. (2020) exhiben una capacidad antioxidante entre 40-60% para *Lactococcus*

lactis y de 58% para *Enterococcus faecium* aislados de leche de camello.

La reacción de Fenton se basa en la oxidación de iones Fe^{2+} a Fe^{3+} mediada por la acción del peróxido de hidrógeno, lo cual da como resultado radicales $OH\cdot$. Estas especies reactivas del oxígeno ocasionan daños en el ADN y producen la peroxidación de lípidos (Lin *et al.* 2018). A partir del análisis de los datos de barrido de radicales oxidrilos, se destaca la cepa *E. faecium* 452, aislada de *Mytilus edulis platensis*, que presentó un 62% de actividad antioxidante, significativamente diferente al resto de las especies estudiadas pertenecientes al género *Enterococcus* ($P \leq 0.05$). Este resultado supera al porcentaje obtenido por Lin *et al.* (2018) para cepas de *Lactobacillus plantarum*, con valores de secuestro de radicales oxidrilos en un rango entre 7.08-49.60%, y *Pediococcus pentosaceus*, de 26.45%. También podemos destacar como microorganismos promisorios a *E. hirae* 107 con actividad antioxidante de un 40.9% y *E. hirae* 108 con 44.8%, aisladas de pepino de mar (*Hemiodema spectabilis*) y de estrella de mar (orden Forciculatida), respectivamente. En relación con el género *Lactococcus*, se destaca *L. lactis* Tw 12, que exhibió un porcentaje de secuestro de radicales oxidrilos de 28.7%, valor notablemente distinto, comparado con las demás cepas pertenecientes al género ($P \leq 0.05$). Se debe resaltar que *L. lactis* Tw 35 mostró mayor capacidad antioxidante

en DPPH, comparado con integrantes de su mismo género; sin embargo, se obtuvo uno de los valores más bajos cuando se utilizó la técnica de secuestro de radicales oxidrilos. En las demás cepas ensayadas, se obtuvieron valores variables, independientemente del género y de la especie, como también del organismo del que fueron aislados.

En el Cuadro 3, se observan los resultados de capacidad antioxidante determinados por el método CUPRAC. Las cepas exhiben una capacidad antioxidante entre 0.233-0.551 equivalentes mmol de ácido ascórbico*ml de suspensión⁻¹. En el género *Enterococcus*, se destacan las cepas de *E. mundtii* Tw56 aislada de *O. platensis*, *E. hirae* 108 y *E. faecium* 465, ambas provenientes de invertebrados marinos; mientras que para el género *Lactococcus*, la cepa *L. lactis* Tw12 aislada de *O. platensis* exhibió la mayor capacidad antioxidante ($P \leq 0.05$). Las restantes cepas de BAL evaluadas presentan variaciones en los resultados, independientemente del género, de la especie y del organismo de aislamiento (peces o invertebrados).

Los resultados obtenidos equivalen al promedio y a la desviación estándar de tres experimentos independientes. Las medias con diferentes letras indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

El ensayo CUPRAC es un método utilizado para el análisis de la actividad antioxidante de matrices

Cuadro 3. Determinación de actividad antioxidante de las células de BAL seleccionadas por el método CUPRAC
Table 3. Determination of antioxidant activity of LAB cells selected using the CUPRAC method

Cepas	Capacidad antioxidante (Eq. mmol ácido ascórbico.ml de suspensión ⁻¹)
<i>Enterococcus mundtii</i> Tw56	0.472 ± 0.036 ^{eh}
<i>E. hirae</i> 106	0.429 ± 0.055 ^{efg}
<i>E. hirae</i> 107	0.421 ± 0.008 ^{defg}
<i>E. hirae</i> 108	0.441 ± 0.123 ^{fg}
<i>E. faecium</i> 135	0.406 ± 0.018 ^{cdefg}
<i>E. mundtii</i> 278	0.417 ± 0.035 ^{cdefg}
<i>E. faecium</i> 452	0.387 ± 0.046 ^{cdef}
<i>E. faecium</i> 459	0.352 ± 0.055 ^{bc}
<i>E. hirae</i> 463	0.360 ± 0.030 ^{cd}
<i>E. faecium</i> 465	0.511 ± 0.063 ^h
<i>E. faecium</i> 468	0.411 ± 0.083 ^{cdefg}
<i>E. hirae</i> 471	0.372 ± 0.008 ^{cde}
<i>Lactococcus lactis</i> Tw11	0.233 ± 0.013 ^a
<i>L. lactis</i> Tw12	0.383 ± 0.051 ^{cdef}
<i>L. lactis</i> Tw34	0.280 ± 0.028 ^a
<i>L. lactis</i> Tw35	0.274 ± 0.041 ^{ab}

Los resultados obtenidos equivalen al promedio y a la desviación estándar de tres experimentos independientes. Las medias con diferentes letras indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

alimentarias y extractos biológicos. Está basado en una transferencia simple de electrones y mide el poder reductor de los compuestos antioxidantes para convertir los iones Cu^{2+} a Cu^+ . Este es considerado una variación del ensayo FRAP, con el cual se evalúa la reducción del ion Fe^{+3} a Fe^{+2} (Shahidi & Zhong, 2015). Mu *et al.* (2019) realizaron un ensayo con células intactas, mediante la técnica FRAP, para examinar la actividad antioxidante de la cepa *L. plantarum* Y44. No obstante, sus resultados no serían comparables con los obtenidos en este trabajo, debido a las diferencias entre los iones metálicos,

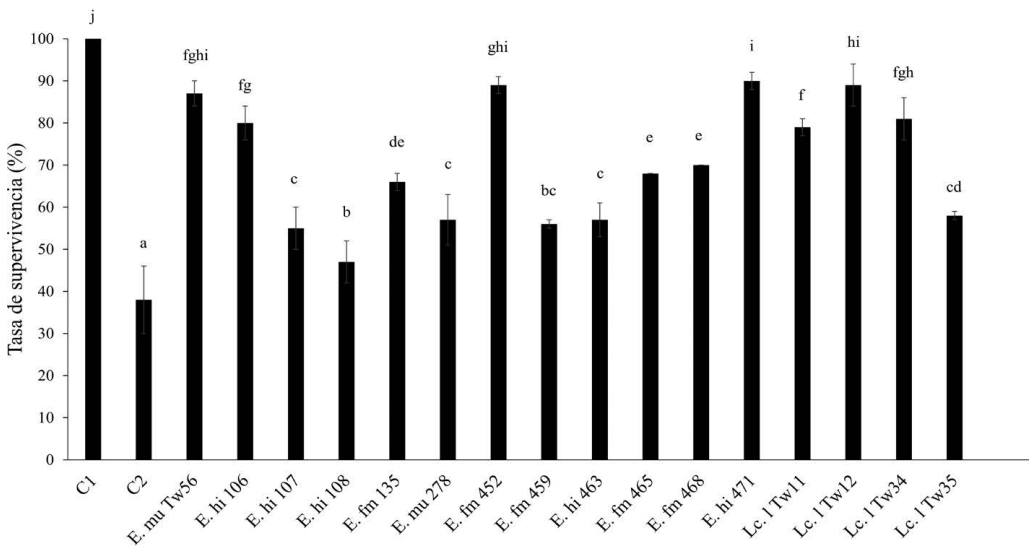
como también al pH del medio utilizado para la reacción, ya que la técnica FRAP es efectuada en un medio ácido (pH = 3.6) y el ensayo CUPRAC es llevado a cabo a pH neutro. Este último podría simular de mejor manera la acción fisiológica de la actividad antioxidante (Özyürek *et al.* 2011).

Las BAL, como otros microorganismos, presentan la capacidad de capturar iones metálicos, que se unen a la pared celular o polisacáridos extracelulares, mediante la adsorción, cambios iónicos, formación de complejos, quelación o microprecipitación. El secuestro de iones metálicos ocurre por biosorción (la unión de iones metálicos a la pared celular sin que medien procesos metabólicos) y la bioacumulación (proceso mediado por el metabolismo, en el cual los iones metálicos se acumulan dentro de la célula) (Mrvčić *et al.* 2012).

En la Figura 1, se observan los resultados de la tasa de supervivencia de *S. cerevisiae* LTW3 al tratamiento con

H₂O₂ (50 mM). El control con adición de peróxido de hidrógeno mostró una reducción de la viabilidad del 64%, mientras que se observó un efecto protector mediante las suspensiones celulares tratadas térmicamente de las cepas de BAL ensayadas ($P \leq 0.05$). La levadura *S. cerevisiae* es utilizada para el estudio de viabilidad replicativa y cronológica celular; se considera un modelo biológico simple para la evaluación de actividad antioxidante, debido a su susceptibilidad al peróxido de hidrógeno (Lin et al. 2018). De

acuerdo con los resultados de porcentaje de viabilidad, se destacan entre las cepas pertenecientes al género *Enterococcus*: *E. hirae* 471, *E. faecium* 452 y *E. mundtii* Tw56; y de las cepas que forman parte del género *Lactococcus*, se destaca *L. lactis* Tw12, todas con un efecto protector superior al 80%. Estos resultados son comparables con lo registrado por Lin et al. (2018), quienes obtuvieron un efecto protector del 79.91% para la cepa *L. plantarum* AR113. Sin embargo, se observan diferencias con lo obtenido por Kuda et al.



E. fm: *Enterococcus faecium*; E. fl: *E. faecalis*; E. mu: *E. mundtii*; E. hi: *E. hirae*; Lc. l: *Lactococcus lactis*; C1: control sin adición de H₂O₂; C2: control con adición de H₂O₂.

Fig. 1. Actividad antioxidante *in vivo* de las cepas seleccionadas. Los resultados obtenidos equivalen al promedio y a la desviación estándar de tres experimentos independientes. Las medias con diferentes letras indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$)

Fig. 1. *In vivo* antioxidant activity of selected strains. Results obtained are equivalent to the average and standard deviation of three independent assays. The means with different letters correspond to significant differences ($P \leq 0.05$)

(2014), quienes reportan un efecto protector menor al 70% para *P. pentosaceus*, *L. lactis* y cepas de *L. plantarum*.

Es importante destacar que no existe una relación directa entre las técnicas *in vitro* e *in vivo* de las BAL seleccionadas en este estudio. Entre las cepas evaluadas se resalta el comportamiento de *E. hirae* 108, que en los ensayos *in vitro* demostró ser potencialmente promisorio; pero, en el modelo *in vivo* presentó un menor efecto protector comparado con las restantes BAL. Contrariamente, la cepa *L. lactis* Tw12 exhibió un bajo porcentaje de secuestro de radicales DPPH, valores intermedios en los ensayos de secuestro de radicales oxidrilos y CUPRAC, mientras que en el modelo *in vivo* resultó ser una de las cepas con mayor efecto protector (89%). Datos similares son reportados en el trabajo de Kuda *et al.* (2014), en el cual la cepa *P. pentosaceus* S-SU6 presentó valores inferiores en los ensayos *in vitro*, pero demostró el mayor efecto protector frente al modelo eucariota de *S. cerevisiae* comparado con las cepas estudiadas en ese trabajo.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo y lo observado por otros autores (Lepecka *et al.* 2023), se podría considerar que la capacidad antioxidante es dependiente de la cepa; microorganismos identificados bajo la misma especie exhiben diferentes resultados, según las técnicas realizadas. Además, como lo han

sugerido Bhagwat & Annapure (2019), se deben realizar diferentes métodos para evaluar la actividad antioxidante, debido a los distintos sistemas de barrido de radicales presentes en los microorganismos. En futuros estudios, se deberían valorar los procesos de regulación enzimáticos relacionados con la actividad antioxidante, como también la naturaleza de los compuestos que otorgan dicha característica con potencial biotecnológico.

CONCLUSIONES

Mediante las evaluaciones *in vitro* e *in vivo* de los cultivos celulares de las 16 cepas provenientes de organismos marinos, se determinó que la capacidad antioxidante es variable y dependiente de las cepas e independiente del origen del aislamiento. Particularmente, las cepas *E. hirae* 471, *E. faecium* 452, *E. mundtii* Tw56 y *L. lactis* Tw12 podrían ser consideradas BAL promisorias para su utilización en alimentos funcionales, de acuerdo con su efecto protector evaluado en *S. cerevisiae*. Mientras que, las cepas *E. hirae* 106, 107, 108, *E. mundtii* 278, *E. faecium* 465 y *L. lactis* Tw 35 se podrían utilizar como cultivos iniciadores en procesos fermentativos, debido a la producción de metabolitos con capacidad antioxidante, según lo obtenido en los ensayos *in vitro*. La capacidad antioxidante ejercida por las

cepas bacteriocinogénicas de origen marino podría considerarse un rasgo metabólico adicional de selección para evaluar el potencial biotecnológico en procesos fermentativos y desarrollo de alimentos funcionales.

REFERENCIAS

- Annuziata, A. & Vecchio, R. (2013). Consumer perception of functional foods: A conjoint analysis with probiotics. *Food Qual. Prefer.*, 28(1), 348-355. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.10.009>
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M. & Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC Method. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 7970-7981. <https://doi.org/10.1021/jf048741x>
- Bhagwat, A. & Annapure, U. S. (2019). *In vitro* assessment of metabolic profile of *Enterococcus* strains of human origin. *J. Genet. Eng. Biotechnol.*, 17(11), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s43141-019-0009-0>
- Dionisi, H., Lozada, M. & Olivera, N. (2012). Bioprospection of marine microorganisms biotechnological applications and methods. *Rev. Argent. Microbiol.*, 44, 49-60.
- Feng, J., Cai, Z., Chen, Y., Zhu, H., Chang, X., Wang, X. & Nie, G. (2020). Effects of an exopolysaccharide from *Lactococcus lactis* Z-2 on innate immune response, antioxidant activity, and disease resistance against *Aeromonas hydrophila* in *Cyprinus carpio* L. *Fish Shellfish Immunol.*, 98, 324-333. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.01.037>
- Gianni de Carvalho, K., Gómez, J., Vallejo, M., Marguet, E., Peroti, N., Donato, M., ... & Colin, V. (2019). Production and properties of a bioemulsifier obtained from a lactic acid bacterium. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 183, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109553>
- Granato, D., Barba, F., Bursac-kovačević, D., Lorenzo, J., Cruz, A. & Putnik, P. (2020). Annual Review of Food Science and Technology Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annu Rev Food Sci Technol*, 11(3), 93-118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
- Kim, S., Jeon, H., Han, H. & Hur, J. (2021). Evaluation of *Bacillus albus* SMH-1 and *B. safensis* SMG-2 isolated from Saemangeum Lake as probiotics for aquaculture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquac. Rep.*, 20, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100743>
- Kuda, T., Kawahara, M., Nemoto, M., Takahashi, H. & Kimura, B. (2014). *In vitro* antioxidant and anti-inflammation properties of lactic acid bacteria isolated from fish intestines and fermented fish from the Sanriku *Satoumi* region in Japan. *Food Res. Int.*, 64, 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.028>
- Lara, V., Vallejo, M., Parada, R., Henao Ossa, J., Gliemmo, M. & Campos, C. (2020). Characterization of the emulsifying activity of biosurfactants produced by lactic acid bacteria isolated from the Argentinian Patagonia. *J. Dispers. Sci. Technol.*, 46(6), 902-909. <https://doi.org/10.1080/01932691.2020.1845961>
- Lepecka, A., Szymański, P., Okoń, A., Ziełńska, D. (2023). Antioxidant activity of environmental lactic acid bacteria strains isolated from organic raw fermented meat products. *LWT - Food*

- Sci. Technol.*, 174, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114440>
- Lin, X., Xia, Y., Wang, G., Yang, Y., Xiong, Z., Lv, F. & Ai, L. (2018). Lactic acid bacteria with antioxidant activities alleviating oxidized oil induced hepatic injury in mice. *Front. Microbiol.*, 9, 1-10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02684>
- Marguet, E., Vallejo, M., Chichisola, V. & Quispe, J. (2011). Actividad antagonista de bacterias lácticas aisladas del medio marino contra cepas de *Listeria*. *Acta Bioquim. Clin. Latinoam.*, 45(2), 305-310.
- Mrvčić, J., Stanzer, D., Šolić, E. & Stehlik-Tomas, V. (2012). Interaction of lactic acid bacteria with metal ions: Opportunities for improving food safety and quality. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 28(9), 2771-2782. <https://doi.org/10.1007/s11274-012-1094-2>
- Mu, G., Li, H., Tuo, Y., Gao, Y. & Zhang, Y. (2019). Antioxidative effect of *Lactobacillus plantarum* Y44 on 2,2'-azobis(2-methylpropionamidine) dihydrochloride (ABAP)-damaged Caco-2 cells. *J. Dairy Sci.*, 102(8), 6863-6875. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16447>
- Özyürek, M., Güçlü, K. & Apak, R. (2011). The main and modified CUPRAC methods of antioxidant measurement. *Trends Analyt. Chem.*, 30(4), 652-664. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.11.016>
- Rezaei, M., Noori, N., Shariatifar, N., Gandomi, H., Akhondzadeh Basti, A. & Mousavi Khaneghah, A. (2020). Isolation of lactic acid probiotic strains from Iranian camel milk. *Food Sci. Technol.*, 132, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109823>
- Schelegueda, L. I., Vallejo, M., Gliemmo, M. F., Marguet, E. R. & Campos, C. A. (2015). Synergistic antimicrobial action and potential application for fish preservation of a bacteriocin produced by *Enterococcus mundtii* isolated from *Odontesthes platensis*. *LWT - Food Sci. Technol.*, 64, 794-801. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.017>
- Sequeiros, C., Vallejo, M., Marguet, E. R. & Olivera, N. L. (2010). Inhibitory activity against the fish pathogen *Lactococcus lactis* TW34, a lactic acid bacterium isolated from the intestinal tract of a Patagonian fish. *Arch. Microbiol.*, 192, 237-245. <https://doi.org/10.1007/s00203-010-0552-1>
- Shahidi, F. & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *J. Funct. Foods*, 18, 757-781. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>
- Sosa, F. M., Parada, R. B., Marguet, E. R. & Vallejo, M. (2022). Utilization of agro-industrial byproducts for bacteriocin production using *Enterococcus* spp. strains isolated from patagonian marine invertebrates. *Curr. Microbiol.*, 79, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02712-5>
- StatPoint Technologies, Inc. (2006). *Statgraphics centurion XV user manual*. The Plains, VA: StatPoint Technologies, Inc. <https://www.statgraphics.com/>
- Vallejo, M., Olivera, N., Sequeiros, C. & Marguet, E. (2009). Actividad antilisteria de bacterias ácido lácticas aisladas de peces marinos. *Analect. Vet.*, 29(2), 19-23.
- Wen, X., Wu, J., Wang, F., Liu, B., Huang, C. & Wei, Y. (2013). Deconvoluting the role of reactive oxygen species and autophagy in human diseases. *Free Radic. Biol. Med.*, 65, 402-410. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2013.07.013>

- Zhang, L., Liu, C., Li, D., Zhao, Y., Zeng, X., Yang, Z. & Li, S. (2013). Antioxidant activity of an exopolysaccharide isolated from *Lactobacillus plantarum* C88. *Int. J. Biol. Macromol.*, 54, 270-275. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.12.037>
- Zhang, Y., Chen, X., Hu, P., Liao, Q., Luo, Y., Li, J., Feng, D., ... & Xu, H. (2021). Extraction, purification, and antioxidant activity of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus kimchi* SR8 from sour meat *in vitro* and *in vivo*. *Cy T A - J. Food*, 19(1), 228-237. <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.1883117>

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.orljournal-sljacobson.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.orljournal-sljacobson.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.

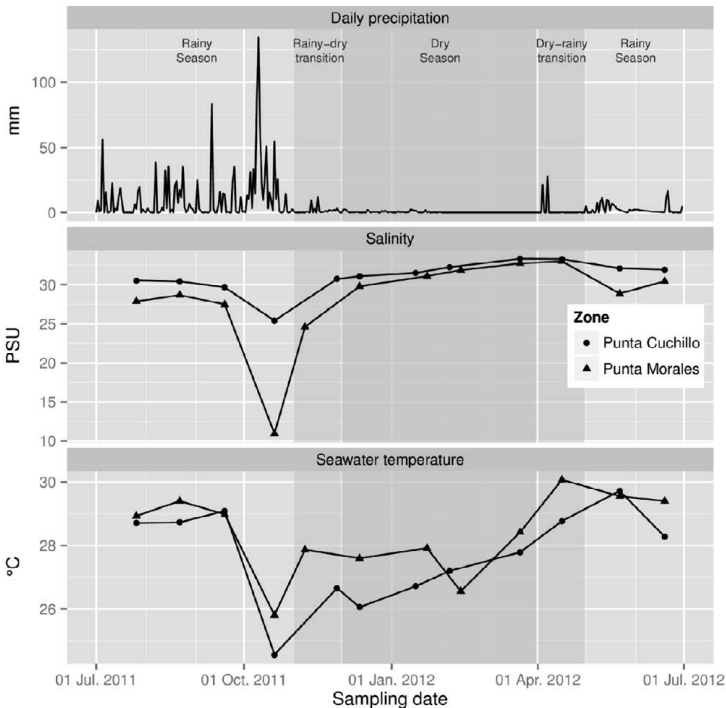


Fig. 3. Precipitación diaria (mm) y salinidad (UPS) y temperatura (°C) mensual registradas de julio de 2011 a junio de 2012 en las zonas de cultivo de *Crassostrea gigas* de Punta Cuchillo y de Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Se representan la estación seca, la estación lluviosa y los meses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

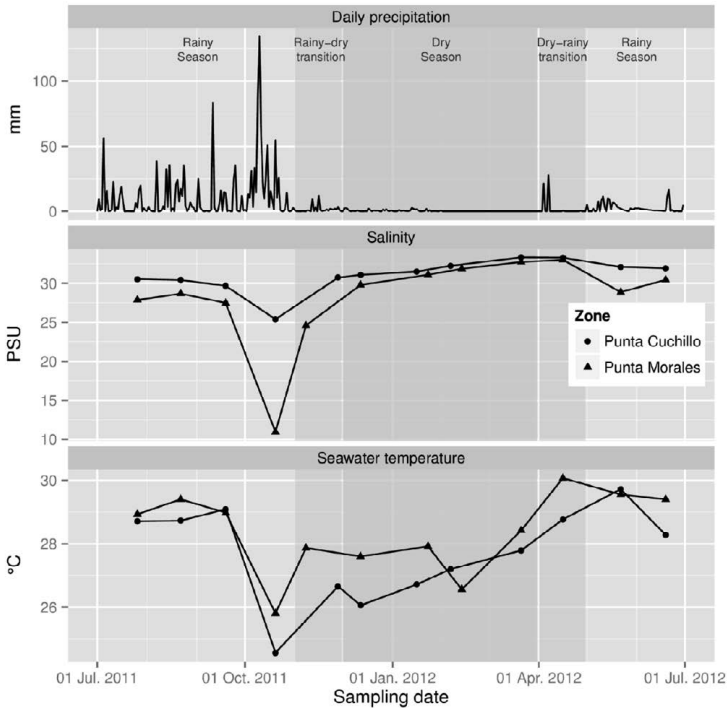


Fig. 3. Precipitación diaria (mm) y salinidad (UPS) y temperatura (°C) mensual registradas de julio de 2011 a junio de 2012 en las zonas de cultivo de *Crassostrea gigas* de Punta Cuchillo y de Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Se representan la estación seca, la estación lluviosa y los meses 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 2023, 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/>