

ISSN en línea 2215-9045

Boletín Científico CIOH

CARIBE Y PACÍFICO

Cartagena de Indias, D.T. y C., Colombia



Ministerio de Defensa Nacional-Dirección General Marítima

Vol. 44 N.º 1. Junio 2025

Ministerio de Defensa Nacional



Dirección General Marítima
Autoridad Marítima Colombiana

Centro de Investigaciones Oceanográficas
e Hidrográficas del Caribe

Centro de Investigaciones Oceanográficas
e Hidrográficas del Pacífico

Boletín Científico CIOH

Vol. 44 N.º 1

Junio 2025

Ministerio de Defensa Nacional

Dirección General Marítima

**Centro de Investigaciones Oceanográficas e
Hidrográficas del Caribe (CIOH)**

**Centro de Investigaciones Oceanográficas e
Hidrográficas del Pacífico (CCCP)**

BOLETÍN CIENTÍFICO CIOH

Dirección General Marítima (Dimar)

Centro de Investigaciones Oceanográficas
e Hidrográficas del Caribe (CIOH)

Centro de Investigaciones Oceanográficas
e Hidrográficas del Pacífico (CCCP)

Vol. 44 N.º 1. Junio 2025

DIRECTOR GENERAL MARÍTIMO

Almirante John Fabio Giraldo Gallo

DIRECTOR BOLETÍN CIENTÍFICO CIOH

Capitán de Navío Alexis Grattz Bonilla

Director CIOH

COORDINADORA EDITORIAL

Angélica María Castrillón-Gálvez

Máster en Edición de Publicaciones Dimar

EDITORA JEFE

Rosana del Pilar Adames Prada, M.Sc.

Máster en Ciencias - Física y Magister en Oceanografía

Grupo de Investigación Marítima - Subdirección de
Desarrollo Marítimo

GESTOR EDITORIAL

Alexandra Castro Suárez

Máster en Estudios Editoriales

COMITÉ EDITORIAL

Roberto Enrique Lastra Mier, Ph.D.

Grupo de investigación en Derecho y Territorio. Grupo

de investigación INVIUS

Facultad de Ciencias Jurídicas

Universidad del Atlántico

Yanis Cruz Quintana, Ph. D.

Grupo de Investigación en Sanidad Acuicola, Inocuidad
y Salud Ambiental

Universidad Técnica de Manabí (Ecuador)

Bismarck Jigena Antelo, Ph.D.

Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación
y Construcciones Navales.

Universidad de Cádiz (España)

Juan Gabriel Rueda Bayona, Ph.D.

Grupo de investigación en Hidráulica Fluvial y Marítima

- HIDROMAR

Facultad de Ingeniería

Universidad del Valle

Mónica María Zambrano Ortiz, Ph.D.

Corporación Académica Ambiental

Universidad de Antioquia

Mary Luz Cañón Páez, Ph.D.

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)

Andrea Corredor-Acosta, Ph.D.

Centro de Investigación Dinámica de Ecosistemas
Marinos de Altas Latitudes (IDEAL)

Universidad Austral de Chile

Eduardo Santamaría del Ángel, Ph.D.

Facultad de Ciencias Marinas

Universidad Autónoma de Baja California (México)

CUBIERTA

Fachada del Centro de Investigaciones Oceanográficas e
Hidrográficas del Caribe (CIOH).

COMITÉ CIENTÍFICO

Guillermo Gomer Cotrina Cabello, Ph.D.

Universidad Nacional de Cañete (Perú)

Luis Ernesto Paz Enrique, Ph.D.

Universidad Nacional Autónoma de México (México)

Ángel Leonardo Rojas Rodríguez, Ph.D. (c)

Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla"

Sonia Esperanza Reyes Gómez, Ph.D.

Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y
del Caucho ICIPC

Mauricio Alejandro Perea Ardila, Ph.D.

Universidade Federal do Ceará (Brasil)

German David Patarroyo Camargo, Ph.D.

Universidad Industrial de Santander

Yeison Alberto Garcés Gómez, Ph.D.

Universidad Católica de Manizales

Iván Martín León Luna, Ph.D.

Universidad del Atlántico

Julio César Herrera Carmona, Ph.D.

Universidad del Valle

EDITORIAL DIMAR

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Fenix Media Group S.A.S.



Boletín Científico CIOH por Dimar se encuentra bajo una Licencia
Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Unported.
Basada en una obra en www.cioh.org.co

El Boletín Científico CIOH es una revista científica seriada, especializada en las diferentes áreas de investigación de las ciencias del mar: hidrografía, oceanografía física, meteorología marina, geología marina, protección del medio marino, manejo integrado de zonas costeras, patrimonio cultural sumergido y biología marina, y disciplinas afines, dirigida a la comunidad científica y la academia en el ámbito global. Publica semestralmente artículos científicos inéditos y arbitrados, producto de proyectos de investigación adelantados por los centros de investigaciones científicas marinas de la Dirección General Marítima y de otros institutos, e investigadores que realicen contribuciones originales al desarrollo de nuevo conocimiento. Se edita en formato digital bajo el ISSN en línea 2215-9045, en idioma español e inglés. Su distribución se hace desde la plataforma Open Journal System (OJS) (<http://ojs.dimar.mil.co>) y el Repositorio Biblioteca Digital (RBDM) (Boletín Científico CIOH). Este producto intelectual cuenta con una política de acceso abierto (Open Access, OA) para su consulta, sus condiciones de uso y distribución están definidas por el licenciamiento Creative Commons ©.

EDITORIAL

CIOH: 50 años de ciencia y servicio al mar *CIOH: 50 years of science and service to the sea*

DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2025.659>

Alexis Grattz Bonilla¹

CITAR COMO:

Grattz Bonilla, A. (2025). CIOH: 50 años de ciencia y servicio al mar. *Boletín Científico CIOH*, 44(1), 3-4. <https://doi.org/10.26640/22159045.2025.659>

Conmemorar el quincuagésimo aniversario del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) constituye un hito de enorme trascendencia para la comunidad marítima del país. Desde su creación en 1975, como una dependencia de la Dirección General Marítima (Dimar), el CIOH se ha consolidado como una entidad dedicada a la generación de conocimiento en temáticas enmarcadas en disciplinas tales como la oceanografía, la hidrografía, la protección del medio marino y el manejo integrado de las zonas costeras.

Cinco décadas de labor ininterrumpida le han permitido al CIOH posicionarse como referente nacional e internacional en la investigación científica aplicada al mar, contribuyendo de manera decisiva a la seguridad marítima, la protección de la vida humana en el mar y la preservación de los ecosistemas marinos y costeros. Su aporte trasciende lo académico: constituye un pilar estratégico para el ejercicio de las funciones de la Autoridad Marítima Colombiana, proyectando a la nación en escenarios globales.

La trayectoria del CIOH está marcada por la excelencia y la innovación. A lo largo de los años, su talento humano altamente calificado con el apoyo de las plataformas de investigación científica, han desarrollado productos y servicios de gran impacto como son los pronósticos meteomarineros y la cartografía náutica nacional, tanto en el Caribe como en el Pacífico colombiano. Estos aportes no solo fortalecen la seguridad de la navegación, sino que también respaldan la toma de decisiones en ámbitos estratégicos, económicos y ambientales.

Asimismo, se destaca el papel del *Boletín Científico CIOH*, como herramienta de difusión científica desde 1977, cuya evolución como revista unificada visibiliza la producción de los centros de investigación de la Dimar, ubicados en el Caribe y el Pacífico. Este número del Boletín es una muestra de cómo esta publicación contribuye a preservar y proyectar el legado científico del CIOH.

El reconocimiento de la comunidad científica y de organismos internacionales como la Organización Hidrográfica Internacional (OHI), la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI de la Unesco) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) refleja la solidez de sus aportes. Asimismo, el aval otorgado por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (MinCiencias) como centro de investigación reconocido reafirma la vigencia y relevancia de su trabajo, impulsándolo a seguir aportando conocimiento útil y aplicable para el país.

Hoy el CIOH no solo mira hacia atrás con orgullo, sino que proyecta su futuro con renovado compromiso. En un contexto global donde el cambio climático, la gestión sostenible de los recursos marinos y la seguridad marítima exigen respuestas cada vez más integrales, el CIOH se presenta como una institución preparada para los desafíos del siglo XXI. Su capacidad para articular ciencia, tecnología y políticas públicas lo convierten en un actor clave para garantizar el equilibrio entre desarrollo y sostenibilidad en las zonas marítimas y costeras de Colombia.

¹ Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-2442-4437>. Capitán de navío, director del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). Correo electrónico: jefcioh@dimar.mil.co

Celebrar estos 50 años es reconocer el valor de quienes han hecho posible este camino: investigadores, técnicos y colaboradores que han entregado su conocimiento y dedicación al servicio del país. También es reafirmar el compromiso con las generaciones venideras, que encontrarán en el CIOH un aliado estratégico para continuar explorando, comprendiendo y protegiendo el patrimonio marino.

El aniversario número cincuenta no es un punto de llegada, sino un punto de partida. Es la oportunidad de renovar el espíritu científico, fortalecer la cooperación internacional y seguir innovando en beneficio de la comunidad marítima, de la academia y de toda la sociedad colombiana. Con medio siglo de experiencia y una visión orientada al futuro, el CIOH se erige como testimonio vivo de lo que la ciencia puede lograr cuando se combina con la vocación de servicio y el compromiso institucional.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Aproximación a los patrones de navegabilidad, accidentalidad y hundimiento en islas Cayos del Este Sudeste: aportes para el inventario del patrimonio cultural sumergido del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Colombia)

Approach to the Patterns of Navigability, Accidentality and Sinking in Courtwon Cays: contributions to the Inventory of the Underwater Cultural Heritage of the Archipelago of San Andres, Providencia y Santa Catalina (Colombia)

DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2025.627>

Fecha de recepción: 2024-05-24 / Fecha de evaluación: 2024-07-09 / Fecha de aceptación: 2025-06-13

Carlos del Cairo Hurtado¹, Jesús Alberto Aldana Mendoza², Maritza Moreno Calderón³, Laura Victoria Báez Santos⁴, Johann Cuta Jiménez⁵, Gina Lorena Hernández Zárate⁶, Carla Riera Andreu⁷, Alexandra Chadid Santamaría⁸, Linda Lucía Ballestas Torres⁹

CITAR COMO:

Del Cairo, C.; Aldana, J.; Moreno, M.; Báez, L.; Cuta, J.; Hernández, G.; Riera, C.; Chadid, A. y Ballestas, L. (2025). Aproximación a los patrones de navegabilidad, accidentalidad y hundimiento en islas Cayos del Este Sudeste: aportes para el inventario del patrimonio cultural sumergido del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Colombia). *Boletín Científico CIOH*, 44(1), 5-18. <https://doi.org/10.26640/22159045.2025.627>.

RESUMEN

El desarrollo de las investigaciones de la arqueología marítima y subacuática interdisciplinaria sobre el patrimonio cultural sumergido depositado en aguas colombianas se ha visto expuesto a un crecimiento considerable en los años recientes. Particularmente, en el Caribe se han planteado estudios no solo hacia la porción continental de Colombia sino también hacia el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Allí se han adelantado aproximaciones científicas interesadas por inventariar y caracterizar los recursos culturales sumergidos que pueden brindar valiosa información histórica y cultural sobre el pasado de las sociedades humanas. Bajo esta premisa, el presente artículo pretende exponer los análisis interdisciplinarios planteados en islas Cayos del Este Sudeste, en el marco de la Expedición Científica Seaflower del año 2022, particularmente para comprender los patrones de navegabilidad, accidentalidad y hundimiento en la región, para así aportar al registro e inventario nacional de patrimonio cultural sumergido del Archipiélago. Lo anterior, aplicando propuestas metodológicas interinstitucionales aplicadas en los años recientes en distintas partes del Caribe colombiano.

PALABRAS CLAVE: patrimonio cultural, accidentes, arqueología subacuática, mar Caribe, Colombia.

¹ Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5968-9832>. Fundación Colombia Anfibia. Correo electrónico: carlosdelcairo@gmail.com

² Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4488-2490>. Fundación Colombia Anfibia. Correo electrónico: jesusalbertoaldanamendoza@gmail.com

³ Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0195-408X>. Dirección General Marítima. Correo electrónico: mmorenoc@dimar.mil.co

⁴ Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3298-1360>. Fundación Colombia Anfibia. Correo electrónico: victoriabaezsantos@gmail.com

⁵ Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0195-408X>. Dirección General Marítima. Correo electrónico: jcuta@dimar.mil.co

⁶ Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-2259-5101>. Dirección General Marítima. Correo electrónico: ghernandez@dimar.mil.co

⁷ Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9067-2833>. Fundación Colombia Anfibia. Correo electrónico: c.rieraandreu@gmail.com

⁸ Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-4056-7106>. Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla". Correo electrónico: alexandra.chadid.s@armada.mil.co

⁹ Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4272-8596>. Albufera Creativa. Correo electrónico: linda.ballestas@gmail.com

ABSTRACT

The development of interdisciplinary maritime and underwater archaeological research on Underwater Cultural Heritage submerged in Colombian waters has been exposed to considerable growth in recent years. Particularly in the Caribbean, studies have been proposed not only towards the continental portion of Colombia but also in the Archipelago of San Andres, Providencia and Santa Catalina. There scientific approaches have been advanced, interested in inventorying and characterizing underwater cultural resources that can provide valuable historical and cultural information about the past of human societies. Under this premise, this article aims to present the interdisciplinary analyses proposed in Courtwon Cays within the framework of the Expedición Científica Seaflower of the year 2022, particularly to understand the patterns of navigability, accidentality and sinking in the region, in order to contribute to the national registry and inventory of the Underwater Cultural Heritage of the Archipelago. The above, applying inter-institutional methodological proposals applied in recent years in different parts of the Colombian Caribbean.

KEYWORDS: Cultural Heritage, Accidents, Underwater Archaeology, Caribbean Sea, Colombia.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación estuvo enmarcada en la Expedición Científica Seaflower: Isla Cayos de Bolívar 2022, coordinada por la Comisión Colombiana del Océano (CCO), buscando contribuir al estudio del patrimonio cultural sumergido de islas Cayos del Este Sudeste, un área del Caribe que ha sido poco analizada desde una perspectiva arqueológica e histórica (Del Cairo *et al.*, 2024a). Con este propósito, el equipo de trabajo planteó una metodología de trabajo que integrara las perspectivas investigativas previas desarrolladas en los estudios 'Patrones de navegabilidad, accidentalidad y hundimiento del Caribe colombiano' (Del Cairo *et al.*, 2019; 2024b); 'Apropiación social del paisaje cultural marítimo en Providencia y Santa Catalina: caracterización del espacio náutico desde una perspectiva histórica' (Del Cairo *et al.*, 2020; 2022; Moreno y Báez, 2021), y 'Propuesta metodológica para el registro de bienes del patrimonio cultural sumergido en la bahía de Cartagena de Indias y alrededores' (Del Cairo *et al.*, 2021; Moreno, 2021).

En este orden de ideas, el proyecto reunió un equipo interdisciplinario de arqueólogos, historiadores, conservadores, oceanógrafos, hidrógrafos, buzos técnicos y comunicadores sociales. Lo anterior, partiendo de la pregunta de investigación ¿Qué elementos naturales y culturales han permitido la configuración histórica del paisaje cultural marítimo en islas Cayos del Este

Sudeste, y cuáles son las zonas de alto potencial de patrimonio cultural sumergido? (Del Cairo *et al.*, 2024a).

Así pues, este estudio tenía como objetivo general caracterizar los diversos componentes que conforman el paisaje cultural marítimo del área de islas Cayos del Este Sudeste a través de una aproximación histórica y arqueológica coparticipativa (Del Cairo *et al.*, 2024a). A su vez, los objetivos específicos consistieron en: establecer la relación entre los diferentes actores humanos y no humanos que configuran el paisaje cultural marítimo en el área de islas Cayos del Este Sudeste, determinar las áreas de alto potencial arqueológico que sean susceptibles de ser declaradas como bienes y contextos dentro del registro de patrimonio cultural sumergido desde el siglo XVI hasta el XX; establecer mecanismos para la participación comunitaria y fortalecimiento de capacidades locales en relación a los patrimonio culturales marítimos sumergidos (Del Cairo *et al.*, 2024a).

Este artículo pretende mostrar los avances preliminares de la investigación planteada, principalmente en cuanto a los desarrollos metodológicos, los sitios arqueológicos identificados y los desarrollos comunitarios del proyecto. De esta forma se pretende realizar una primera aproximación a los estudios de las interacciones humanas en los cayos del Caribe colombiano a lo largo de la historia.

ÁREA DE ESTUDIO

La región del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina se caracteriza por ser la una serie de islas oceánicas, atolones y bancos coralinos que van en dirección NE que constituyen la más grande extensión de arrecifes coralinos de Colombia. Dentro de este destacan las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, los bajos y bancos de Quitasueño, Serrana, Alicia, Roncador y bajo Nuevo, así como, las islas Cayos de Serranilla, Cayos de Alburquerque y Cayos de Bolívar (Gamboa *et al.*, 2012). A nivel oceanográfico la temperatura del Archipiélago cuenta con un medio de 26 a 29.5°C en la superficie del mar, con salinidades inferiores a los 35.5 en la capa superficial, oxígeno disuelto de 6.4 mg/l en superficie (González y Hurtado, 2012).

Particularmente, islas Cayos del Este Sudeste, también conocido como Courttown Cay o Isla Cayos del Este Sudeste, se localiza a 25 km del sureste de la isla de San Andrés. Estos se

encuentran separados por la depresión Nutibara. El atolón se caracteriza por tener una forma de riñón y tener una longitud de 11.7 km y un ancho de 5.1 km (Andrade-Amaya, 2010). Este presenta una parte orientada SE-NW y otra en dirección NNW-ESE, y cuenta con tres cayos emergidos permanentemente, aunque su forma ha cambiado con el paso de los años. Este atolón está rodeado por aguas de gran profundidad que alcanzan los 1000 m de profundidad, formando una laguna con una abertura hacia el oeste y suroeste (Geister y Díaz, 2007). Este atolón está conformado por tres cayos: el Est Cay y Sand Cay, que actualmente forman una sola isla en forma de arco, el Middle Cay que ya desapareció, y el West Cay que es donde se encuentra el faro y puesto militar. En este último el oleaje suele venir del este-noreste, siendo su costado oeste y sureste los más abrigados (Andrade-Amaya, 2010). Además, se cuenta con un sedimento, principalmente, de arenas y corales, aunque en algunos sectores hay sedimentos con algas calcáreas, zonas rocosas o bien coberturas vegetales de pastos marinos (Geister y Díaz, 2007).

Localización del área de estudio Cayo Bolívar

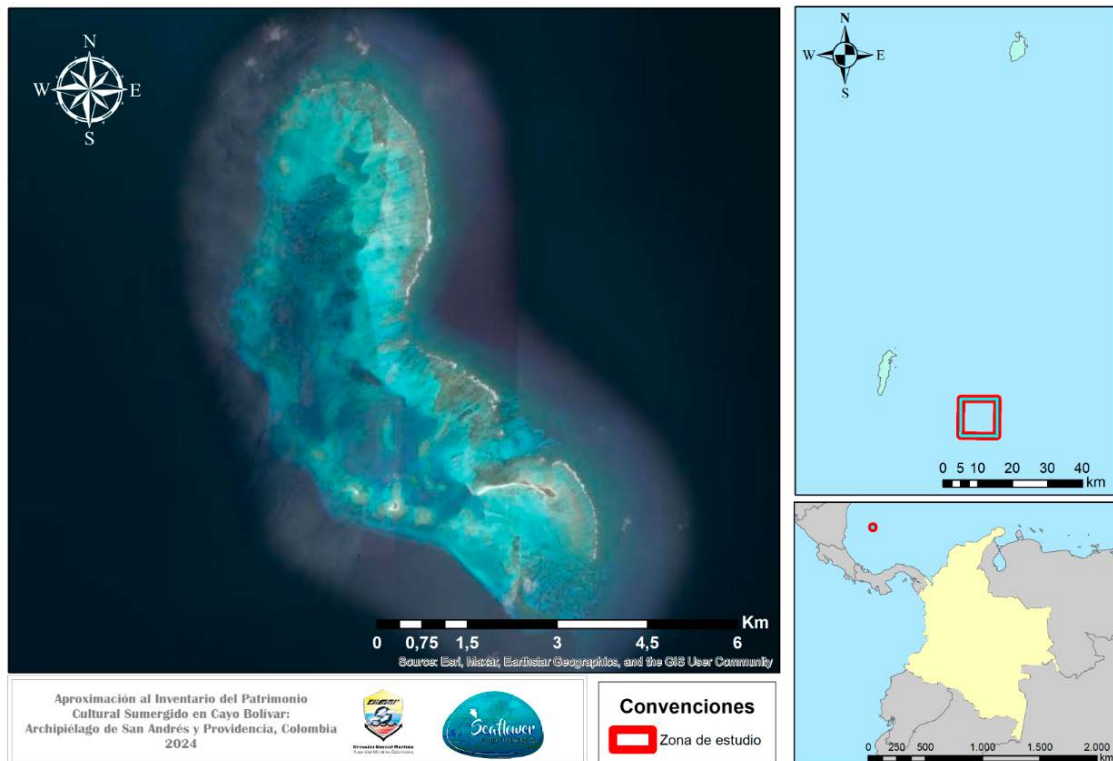


Figura 1. Ubicación del área de estudio arqueológica interdisciplinaria en islas Cayos del Este Sudeste.

METODOLOGÍA

Las actividades metodológicas asociadas a la presente investigación se establecieron en cuatro fases. Se partió de propuestas teóricas y conceptuales del paisaje cultural marítimo (Westerdahl, 2011; Duncan y Gibbs, 2015). Este concepto se refiere a todos aquellos elementos que conjugan las actividades, los objetos y las infraestructuras relacionadas con el mar, los cuales se pueden depositar en la tierra o en el agua (Westerdahl, 2011; Duncan y Gibbs, 2015). Así pues, abarca las rutas de navegación, los espacios vacíos, los paisajes de poder y resistencia, las percepciones sensoriales (visuales, sonoras, olfativas). Además, el paisaje cultural marítimo toma en cuenta elementos de transformación del paisaje como la tecnología, los eventos históricos, el cambio ecológico, las relaciones sociales complejas, las diferencias de género, la migración y prácticas culturales asociadas (Westerdahl, 2011; Duncan y Gibbs, 2015).

La metodología de este estudio contó con varios componentes desde las técnicas de la arqueología, la historia y la oceanografía, entre otros (Fig. 2). Así pues, en primer lugar, se realizó la recopilación de fuentes documentales cartográficas e históricas a partir de la consulta de archivos nacionales e internacionales. A partir de ello se pretendió realizar la identificación de los patrones de navegabilidad, accidentalidad y hundimiento, con un análisis de las fuentes escritas primarias y secundarias, así como de las fuentes gráficas (cartografía y grabados), teniendo en cuenta la propuesta realizada por Del Cairo *et al.* (2019). Así se realizó un análisis del discurso -cuando fue posible- y un análisis gráfico de las imágenes, con la finalidad de determinar variables oceanográficas, cambios en las líneas costeras, rutas de navegación, posible ubicación de naufragios, unidades de paisaje y toponimia, batimetría, entre otras categorías.

Esta metodología se complementó con la recopilación de fuentes orales, especialmente de los testimonios de los coinvestigadores del equipo de trabajo y de pescadores locales. En este sentido se buscó construir una discusión horizontal de los fenómenos de navegabilidad y accidentalidad, pero asimismo de los hundimientos que acontecieron. Así, a través de un enfoque coparticipativo se pretendió dar valor a los conocimientos de los

pobladores locales sobre las relaciones humanas pasadas con el mar.

En segundo lugar, se realizó una salida de campo con una prospección geofísica y una recopilación de fuentes orales en campo. La prospección se adelantó por medio de una ecosonda SideImaging DualBeam, que ofrece condiciones prácticas para el mapeo del lecho acuático y la identificación de anomalías en condiciones de baja profundidad. Esto se realizó teniendo en cuenta que la zona de estudio cuenta con una gran cantidad de bancos de arena y las barreras coralinas que no permiten el uso de sensores con torpedo de arrastre (Del Cairo *et al.*, 2024a).



Figura 2. Obtención de información interdisciplinaria vinculada a distintas fuentes de información para llevar a cabo las fases relacionadas al registro del patrimonio cultural sumergido. (Del Cairo *et al.*, 2021).

En tercer lugar se realizó una aproximación para el fortalecimiento de capacidades locales en patrimonio cultural sumergido y en arqueología marítima y subacuática, orientada a estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Caribe, gracias al apoyo de la profesora Ana Isabel Márquez y al grupo coordinador de la expedición científica de la CCO. Lo anterior, dado el corte social y cultural de esta investigación, por lo cual resulta fundamental integrar y divulgar localmente las propuestas investigativas y las perspectivas analíticas planteadas en este estudio. Finalmente, se analizó e interpretó la información obtenida en las distintas fuentes, tanto en escritorio como en campo, entre las que se encuentran: cartografía y grabados históricos, la oralidad, *Raw-Data* del

sensor, hallazgos en campo, integración de las perspectivas interpretativas locales, registro audiovisual subacuático y aéreo, entre otras (Del Cairo *et al.*, 2024a) (Fig. 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La configuración del paisaje cultural marítimo de la navegabilidad y accidentalidad en islas Cayos del Este Sudeste

El poblamiento del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina pudo haber iniciado en tiempos prehispánicos, aunque la evidencia es limitada. Los Miskitos, vinculados al Caribe, posiblemente usaron estas islas para pesca y recolección (Márquez, 2014). Los primeros registros escritos datan de 1529 en el mapa de Diego Ribero, reflejando la temprana importancia de la zona para la navegación, y atrayendo corsarios y contrabandistas holandeses (Parsons, 1985). A inicios del siglo XVII la Company of Adventurers inglesa intentó establecer una colonia en Providencia, destacando su valor defensivo y la introducción de esclavos en 1633 para obras públicas. Esto sucedió tras haber explorado el territorio de la isla de Henrietta que no ofrecía las condiciones necesarias para la colonia (Parsons, 1985; Archibold Núñez, 2014).

A lo largo del siglo XVII se evidencian conflictos por el control de las islas del Archipiélago. Un ejemplo de ello es la toma de Providencia y Santa Catalina por parte de los corsarios Edward Mansfield y Henry Morgan. Esto marca un periodo de conflictos por control del territorio entre españoles y corsarios, que incluso llevan a la destrucción o reconstrucción de las fortificaciones de las islas (Rowland, 1935). Así el paisaje se fue transformando a partir de las diferentes relaciones de poder que se ejercieron en las islas.

A lo largo del territorio marítimo del Archipiélago, las aguas no solo adquirieron relevancia por las actividades de subsistencia como la pesca, sino que también se convirtieron en puntos estratégicos para la navegación de las embarcaciones de diferentes imperios europeos. Las rutas a través de los cayos y las islas sirvieron tanto de referencia para los navegantes como de advertencia por los riesgos que representaban.

Así, por ejemplo, Herrera y Tordesilla, describe detalladamente los peligros y características geográficas de la región:

"y a 5 lenguas defta cofta, las hormigas, vn Arrezife peligrofo y 7 lenguas las Viuoras ifletas cercadas de arrazifes y al sur dellas la Serrana y vna isleta rodeade de baxios, con otras quatro o cinco cerca della, y al Noruedte della, la Serranilla y al Poniente el Roncador otro baxo y como el Sudueste del Santandres, isla cerca de baxios, Norte Sur, con nombre de Dios, como quarenta lenguas del, y cerca de alli otra dicha fata Catalina" (De Herrera, 1601, p. 12).

De este modo, la complejidad geográfica de ciertas áreas del Caribe convirtió a estas zonas de los cayos en lugares que los navegantes preferían evitar debido al alto riesgo de naufragios o de perderse en el mar. Así, por ejemplo, se describía la zona de Quitasueño y Roncador como: *"dos bazos peligrofos y paffado el Cabo, el golfo de Nicuefa por donde anduuo perdido año 1510"* (De Herrera, 1601, p. 56).

Por este motivo, los cayos del Archipiélago son frecuentemente representados en la cartografía histórica de esta zona. Sin embargo, islas Cayos del Este Sudeste no es representado sino hasta finales del siglo XVIII, bajo la denominación de 'ESE Keys' (Fig. 3). En esta se puede observar la presencia del tránsito de embarcaciones en el Archipiélago, especialmente en la zona de las islas. Así, estas se encontrarían, principalmente, hacia el nororiente y el oriente dado el tránsito caribeño en términos insulares y continentales.



Figura 3. Detalle del mapa "The Isthmus of Panama with the coast from Great River on the Moskito Shore to Cartagena", donde se observa la representación de islas Cayos del Este Sudeste (ESE Keys) en 1775. (David Rumsey Historical Map Collection).

Por su parte, otro evento importante para el Archipiélago fue la declaración de San Andrés como puerto menor en 1798. Hecho que influyó la navegación en la zona al incrementar el paso de embarcaciones de comercio legal e ilegal. Así San Andrés funcionaba como una bodega de productos ingleses esperados para ser llevados a tierra firme, especialmente a lugares como León de Nicaragua (Meisel-Roca, 2003; 2016; Parsons, 1985). Más adelante, en 1803 el Archipiélago vuelve quedar supeditado al puerto de Cartagena de Indias, marcando otras dinámicas comerciales para la zona (Parsons, 1985). A principios del siglo XIX el Archipiélago sigue siendo un lugar importante para el desarrollo de las actividades de piratería y corso. Por este motivo aún se producen algunos ataques y ocupaciones corsarias, como la del capitán John Bligh del buque HMS "Surveillante" en la isla de San Andrés en 1806 (Parsons, 1985).

Otro hecho importante para la historia del Archipiélago lo constituye su importancia como centro para las embarcaciones independentistas. Así, en 1818, Luis Aury se toma las islas de Providencia y Santa Catalina, siendo esta una de las primeras poblaciones libres del control de la Corona española (Cumming, 2017). Sin embargo, tras la muerte de Aury llega Louis Perú de Lacroix para asegurar el control y apoyo de la isla a la independencia, buscando que se firme la adhesión de la República por medio de la constitución de Cúcuta. Siguiendo este suceso, se establece que la sede gubernamental del Archipiélago quede en la isla de San Andrés, a cargo de Juan Bautista Faiquere. De esta manera, desde 1822 hasta 1868, la provincia de Cartagena de Indias tiene al Archipiélago como su sexto Cantón.

Paralelamente, a lo largo del siglo XIX empieza a desarrollarse la industria, siendo este otro elemento clave para comprender las diferentes interacciones de los seres humanos con estos territorios marítimos y el desarrollo de este paisaje cultural marítimo. Por este motivo, localizar los Cayos de manera precisa se convierte en una actividad necesaria. En este sentido, en 1804 los españoles realizan un sondeo del área y, posteriormente, el HMS Shearwater realiza una corrección diciendo que está más hacia el este, y establece algunas medidas batimétricas con baja precisión (Gómez Pretel y Jeong, 2021). Por

ejemplo, el Servicio Hidrográfico de los Estados Unidos hace un reconocimiento de la zona en 1885 y describe el Courtown bank (con sus respectivos Cayos Courtown Cays o E.S.E. cays, actualmente islas Cayos del Este Sudeste) de la siguiente manera:

"Este banco de coral es de forma irregular y forma una profunda ensenada en el lado este. Tiene 7 millas de largo NW y S SE de 1 a 2 millas de ancho y sus extremos norte y sur terminan en puntos. Aproximadamente 1 milla dentro de la punta norte un arrecife de barrera convexo hacia el noreste se extiende a través del banco y a lo largo del lado este por aproximadamente 4 millas hasta el fondo de la curva donde es muy escarpado hasta el borde de los sondeos estando apenas a una milla de distancia" (United States. Hydrographic Office, 1885).

Así, el comercio del carey y la caza de tortugas adquiere importancia, especialmente, en la zona de los cayos del norte (Parsons, 1985). Por ejemplo, Roncador era un punto fundamental donde anclaban las embarcaciones de entre 10 y 15 toneladas en invierno para "voltear" a las tortugas en la playa y pescarlas con redes (Meisel-Roca, 2016; Parsons, 1985). Estos cayos eran frecuentemente visitados por pescadores de las islas Caimán, que en ocasiones pasaban incluso algunos días en esta zona (Parsons, 1985).

Paralelamente, los cayos del norte comienzan a tener una extracción importante de guano. Esto conlleva a problemas geopolíticos con Estados Unidos quienes habían establecido la Ley de "Guano Islands" de 1856, en la cual se estableció que los ciudadanos estadounidenses podían tomar posesión de islas deshabitadas, que no estuvieran en las aguas territoriales de otro país y que sirvieran para la explotación del guano (Parsons, 1985). De esta manera, James W Jennett consigue una licencia entre 1868 y 1869 para explotar la serranía y cayos adyacentes, así como Roncador, Quitasueño y Serranilla. La explotación de guano en los cayos siguió hasta finales del siglo XIX, aunque nunca fueron habitados (Gómez Pretel y Jeong, 2021).

De igual manera, en los otros cayos, ocasionalmente el Gobierno isleño daba en arrendamiento los territorios para los

pescadores o cazadores de tortugas, e incluso para el cultivo de barracas o de palmas de coco. Edward Blunt (1867) en la vigesimoprimera edición de la *American Coast Pilot*, una publicación que se venía produciendo desde 1796, también menciona que islas Cayos del Este Sudeste está conformado por tres cayos pequeños, compuestos de arena y piedras de coral, que cuentan con vegetación de diferentes tipos, incluyendo árboles de coco:

"El más oriental está a una milla del borde del banco y a dos millas del extremo sur; tiene un cuarto de milla de largo y un cable de ancho a cuatro pies sobre el nivel del mar y está cubierto de arbustos enanos y sampedros. El Cayo del medio está situado al oeste por el sur a una milla y media del anterior; tiene seis pies de altura y además de arbustos tiene una gruta de cocoteros. Este Cayo está en lat 120 24 N largo 810 28 27 W y yace E por S 1/4 S dieciséis millas del extremo del S de St Andrew's El islote occidental yace W por N cerca de cuatro calder a que longitud del Cayo medio y cerca de la misma distancia del borde de sondeos él muy pequeño y bajo y cubierto con los arbustos enanos NWW una milla y un cuarto del Easternmost de los Cayos antedichos allí es una pequeña perforación seca de la arena" (Blunt, 1867).

Particularmente, islas Cayos del Este Sudeste también ha sido un punto importante para la navegación, especialmente, por su cercanía a las islas más grandes de la zona. De esta manera, "ha servido tradicionalmente a la navegación de goletas de cabotaje que llegan a San Andrés por el sur" (Parsons, 1985). Así, en los reportes para los navegantes se menciona que es posible fondear en el borde del banco de Courtown, aunque se debe realizar con precauciones de "no tirar más de un cable" (Blunt, 1867).

Por estos motivos, recursos como el agua para el abastecimiento constituían un factor importante para las embarcaciones. En este sentido, Blunt (1867) menciona que es posible obtener el agua en la zona por medio de excavaciones de pozos, especialmente, en los cayos del centro y del este. Estas características convertían a los cayos en un destino para los pescadores y cazadores de tortugas, quienes establecían "cabañas temporales [...] durante los meses de pesca de tortugas, de marzo a agosto" (Blunt, 1867).

Debido a las condiciones geográficas la zona de los cayos fue de gran accidentalidad en el Archipiélago. Así, desde los años 1950 hasta el 2012, en cercanías a islas Cayos del Este Sudeste hubo tormentas tropicales y extratropicales, especialmente, hacia la zona este del cayo, así como un huracán al sur del área de estudio (González y Hurtado, 2012). En una escala más amplia, Gómez Pretel y Jeong (2021) identifican 36 huracanes que afectaron, entre otras, las Islas Cayos de Roncador, Serranilla, Bajo Nuevo, Serrana, así como las rutas de navegación hacia Honduras, Cartagena y Nicaragua. Adicionalmente, hubo 23 naufragios que se encuentran posiblemente en cercanías a Islas Cayos de Roncador, incluyendo aquellos de 1531 hasta 1920. Sin embargo, cabe resaltar que los accidentes que fueron identificados como causados por huracanes fueron de un número, relativamente, bajo por lo que no hay una clara correlación entre estos factores y la accidentalidad de la zona (Gómez Pretel y Jeong, 2021).

Particularmente, vale la pena destacar algunos eventos de hundimiento y accidentalidad que ocurrieron en inmediaciones a islas Cayos del Este Sudeste, especialmente, hacia la zona sureste. El primero fue de la embarcación *Wolverine*, que naufragó el 11 de agosto de 1855 en la parte SE de Courtown Bank, de la costa de Mosquito a 160 millas de Greytown. Esta embarcación, construida en 1836, era de tipo Bergantin balandra de 428 toneladas y con dimensiones de 101x32 ½ pies. Su comandante era John Corbett, de América del Norte y las Indias Occidentales, y toda su tripulación logró salvarse (Colledge y Warlow, 2010; Maritime Archaeological Sea Trust, 2017). De manera similar, la página TYNE BUILT SHIPS menciona que la embarcación de carga llamada "Energía" naufragó en los Cayos Courtown, en las afueras de Nicaragua, en 1918. Esta embarcación había sido construida por Tyne Iron Shipbuilding Company, en el puerto de Willington en 1883. Era una embarcación de metal con las siguientes dimensiones: 3177 TRB, 2064 TRN, 337.0 x 41.2 x 26.5 pies (Robinson y Wall, s. f.). Sin embargo, aún no se han encontrado evidencias arqueológicas de esta embarcación.

De igual manera, en 1938 hubo un accidente del carguero noruego *Newsome*, que encalló frente a Courtown Keys, a 225 millas al noroeste de Panamá. Sin embargo, fue rescatado por el

transatlántico Veragua de United Fruit. El Newsome tenía 1605 toneladas y llevaba cargamento de lastre (Lloyd's Register Foundation, 1838; The New York Times, 1938). Más adelante, en 1964, se produce el hundimiento de la fragata "Almirante Padilla" cuando se dirigía a San Andrés. Esta embarcación encalló sobre el arrecife coralino del flanco occidental de islas Cayos del Este Sudeste. Sin embargo, debido al fuerte oleaje y a pesar de que llegaron dos embarcaciones (Antioquia y Pedro de Heredia) y, posteriormente, una embarcación estadounidense (US County) para el remolque se concluyó que la maniobra era muy peligrosa. El barco fue abandonado y se procedió a volar con explosivos la embarcación para que no quedara a la vista (Caro Triana, 2012).

A través de las fuentes históricas se evidencia que la navegación en las zonas de los cayos y, particularmente, en la zona de islas Cayos del Este Sudeste estuvo, fuertemente, influenciada por su cercanía a san Andrés, por lo cual las embarcaciones que transitaban por allí pudieron estar en búsqueda de esta porción de tierra. Adicionalmente, se observó que la zona sur del Cayo pudo ser de gran accidentalidad debido a las condiciones ambientales (la dirección de las corrientes, la presencia de huracanes y tormentas

tropicales), lo que coincide con la presencia de algunas embarcaciones naufragadas como la mencionada Wolverine. Por su parte, las fuentes orales también establecieron zonas con posible existencia de elementos arqueológicos sumergidos y de zonas cuyas condiciones ambientales dificultaban la navegación, por lo cual podrían ser de gran importancia para el estudio de la accidentalidad de la zona.

Caracterización de las áreas de alto potencial arqueológico asociadas al patrimonio cultural sumergido local

Teniendo en cuenta la información histórica recopilada, las fuentes orales, así como las diferentes características oceanográficas e hidrográficas de la zona, se establecieron algunas áreas de potencial arqueológico que podrían estar vinculadas a la navegabilidad o accidentalidad. Por consiguiente, se realizó una prospección geofísica por medio de la ecosonda SideImaging DualBeam (Humminbird Helix 15) (Fig. 4), en las proximidades a las barreras coralinas. Esto se realizó partiendo de la hipótesis de que estas zonas podrían presentar un mayor riesgo para la navegación y, por ende, constituir una zona de

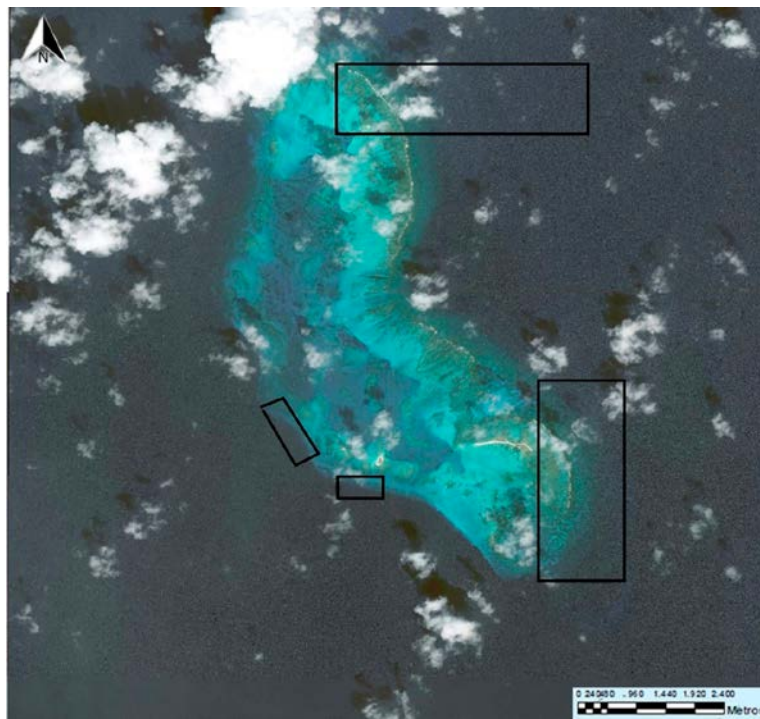


Figura 4. Áreas prospectadas durante la salida de campo.

alta accidentalidad. Se revisaron en total cuatro (4) áreas de interés, dos (2) de ellas asociadas a anomalías, en las que se adelantaron seis (6) verificaciones visuales por medio de careteo y buceo científico.

Ahora bien, con los datos de la ecosonda, obtenidos durante la salida de campo, ya en escritorio se llevó a cabo su postprocesamiento en crudo (Raw-Data), por medio del software ReefMaster, para la identificación de posibles anomalías de interés arqueológico y la caracterización de los contextos identificados, posteriormente, corroborados *in situ*.

En dos de las verificaciones visuales, el equipo de trabajo encontró a poca profundidad dos embarcaciones naufragadas. Allí se llevaron a cabo un par de inmersiones con buceo SCUBA, por parte del equipo de trabajo e integrantes de la Expedición, con el objetivo de obtener un registro fotográfico y fílmico del yacimiento para posteriores análisis en escritorio, que contribuyeran a su estudio con mayor detalle e intentar dar con su origen espaciotemporal que permita, eventualmente, su posible identificación.

Naufragio “Lampa”

Durante la primera corroboración visual de uno de los contextos se identificó una embarcación en hierro de casi 70 m de eslora y 10 m de manga, denominado Sitio “Lampa” (dado el nombre del capitán de lancha, navegante, buzo y pescador que permitió acceder al sitio: Peter Betancur), la cual presentaba múltiples evidencias a lo largo del sitio, incluido el posible motor, una estructura, posiblemente, de la proa y elementos estructurales pendientes de identificar (Fig. 5 y 6).

Teniendo en cuenta sus características, es posible que este naufragio se encuentre vinculado con la fragata de la Armada Nacional, ARC “Almirante Padilla”, una embarcación, originalmente estadounidense, que prestó servicio en la Segunda Guerra Mundial, posteriormente adquirida por Colombia, la cual participó también en la Guerra de Corea. Hacia las décadas de los años 50 y 60, fue dinamitada en islas Cayos del Este Sudeste (Ardila Pinilla, 1964) (Fig. 6), dando como resultado, probablemente, las evidencias artefactuales registradas en la actualidad.



Figura 5. Registro fotográfico subacuático Naufragio Lampa (Foto: Santiago Estrada-Dimar).

Naufragio “San-Thiago”

Por otro lado, se encontró una embarcación naufragada de aproximadamente 50 m de eslora y 15 m de manga, la cual fue llamada Sitio “San-Thiago” (asimismo, asociado al capitán de lancha, navegante, buzo y pescador que la observó expuesta a la distancia: Santiago Arango). Al igual que en el anterior sitio, se observan grandes elementos en hierro a lo largo y ancho de todo el contexto; sin embargo, en este caso se registraron evidencias diagnósticas que sugieren una mayor antigüedad que el naufragio “Lampa” (aproximadamente, finales del siglo XIX y principios del XX).

Así pues, en el sitio se da la presencia de parte del cuarto de máquinas, dos calderas bien conservadas, una propela completa, estructuras asociadas al casco de la embarcación (que delimitan el contorno del sitio con forma de la proa de un barco posiblemente a vapor), el timón, el cabrestante, la aleta de popa donde se encontraba adjunta la propela sin varias de las hélices, dos anclas con su cadena desplegada, un ancla aislada de tipología distinta, así como múltiples y diversas estructuras sin identificar aún. A pesar de toda esta información obtenida, hasta la fecha no se ha dado con la posible identidad de la nave.



Figura 6. Registro fotográfico subacuático naufragio San-Thiago (Foto: Santiago Estrada-Dimar).

Talleres de fortalecimiento local de capacidades

Durante la temporada de campo se llevaron a cabo espacios de acercamiento a estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Caribe, con el objetivo de fortalecer las capacidades locales en patrimonio cultural sumergido y en arqueología

marítima y subacuática. Los estudiantes eran provenientes de programas tales como Antropología, Sociología, Trabajo Social, Derecho, Nutrición, Ingeniería Eléctrica y Enfermería. Por un lado se planteó un taller en la Universidad, con el fin de desarrollar un acercamiento a los estudiantes sobre las temáticas del estudio y las disciplinas que constituían el proyecto. Así pues

se abordaron temas tales como: a) objetivos de la investigación; b) la metodología del estudio; c) las tecnologías a implementar; d) principios y conceptos básicos de la arqueología y el patrimonio cultural; e) universo y diversidad del patrimonio cultural sumergido.

De otro lado, en islas Cayos del Este Sudeste se realizó una segunda sesión, abordando en este caso el desarrollo de la investigación en el marco de toda la Expedición. Particularmente, el presente proyecto abordó varias temáticas que incluyeron: a) un resumen de la sesión introductoria; b) las preguntas generales que guiaron el desarrollo de las actividades en campo tales como ¿Qué pasó en islas Cayos del Este Sudeste en el pasado? y ¿Cuál es su lugar en la historia del Archipiélago?; c) la corroboración de la existencia no solo de unos patrones de navegabilidad y accidentalidad, sino también de hundimiento corroborados en el Cayo (dada la presencia de hallazgos arqueológicos sumergidos); d) la presentación de los dos capitanes de lancha que localizaron los sitios (a saber, Peter Betancur “Lampa” y Santiago Arango “Tiago”) y su descripción de la metodología de la investigación, los métodos y técnicas implementadas, el hallazgo de los dos naufragios, las posibles causas de su hundimiento, y los posibles fenómenos pasados de navegación que acontecían en los alrededores de la isla en función de los factores medioambientales y el tránsito naval del Caribe en los últimos siglos; e) la exposición de las primeras fotografías subacuáticas y aéreas (cortesía de Santiago Estrada y Esteban Herrera) de los dos sitios principales para el conocimiento de los jóvenes estudiantes; f) el reconocimiento de estos sitios como posibles naufragios históricos dada la presencia de materialidad, la distribución y dispersión de los objetos, y las evidencias del evento del hundimiento. En definitiva, se buscaba tratar de discutir y presentar las distintas capacidades dictadas, los principios de la arqueología marítima y subacuática, así como las técnicas, métodos, metodologías y tecnologías de registro y documentación.

CONCLUSIONES

A lo largo de la investigación, fue posible acercarse al estudio de los componentes que conforman el paisaje cultural marítimo del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, con un enfoque particular en

islas Cayos del Este Sudeste. Estos cayos han sido históricamente estratégicos tanto para la navegación como para la extracción de recursos naturales, pero también peligrosos debido a las complejas condiciones ambientales que dificultan las maniobras marítimas. A partir de las fuentes primarias fue posible determinar algunas zonas (especialmente hacia el sur y sureste) donde existe una mayor posibilidad de accidentes o hundimientos.

En la salida de campo fue posible identificar dos sitios arqueológicos de contextos de naufragios en islas Cayos del Este Sudeste. Aunque la investigación actual se ha centrado en la identificación y documentación inicial de estos sitios, se recomienda llevar a cabo estudios más detallados que permitan entender con mayor precisión las causas de los hundimientos y su contexto histórico. De esta forma, el reconocimiento de estos yacimientos corresponde con un primer paso para complementar el registro nacional de patrimonio cultural sumergido de las zonas insulares del Caribe colombiano.

La participación de las comunidades locales ha sido clave en el desarrollo de la investigación, integrando sus conocimientos con una arqueología marítima interdisciplinaria y comunitaria, bajo la figura de coinvestigadores. Las actividades con los habitantes de la región permitieron generar un marco interpretativo más amplio sobre los fenómenos de la navegación en esta área.

Adicionalmente, la interacción con los distintos actores locales involucrados en la expedición científica mostró la preocupación por la vulnerabilidad del patrimonio cultural sumergido, especialmente debido al saqueo y la extracción ilegal de artefactos. La noción que existe alrededor del patrimonio sumergido vinculada a “tesoros” y bienes susceptibles de compraventa de antigüedades ha producido que estos yacimientos de interés común sean objeto de expolio y extracción ilegal de artefactos, generando la pérdida de valiosa información, en términos históricos y culturales para la comprensión del pasado. Por este motivo es fundamental crear espacios de valorización y apropiación de estos elementos arqueológicos dirigidos a los actores que se encuentran cotidianamente en los espacios de islas Cayos del Este Sudeste (pescadores, navegantes, buzos, lancheros, etc.).

Esta historia compartida puede interpretarse y estudiarse con mayor profundidad si los contextos arqueológicos continúan, en la medida de lo posible, siendo preservados como hasta ahora. Por consiguiente, de forma paralela se propone dar lugar a un espacio de diálogo con el puesto de control de islas Cayos del Este Sudeste (en coordinación con la Capitanía de Puerto de San Andrés), donde los militares que rotan en su estadía para la vigilancia del área estén al tanto de la existencia de estos yacimientos y reconozcan el potencial cultural de la región. Todo esto para contribuir a la vigilancia, control, seguridad y monitoreo de los sitios en el largo plazo, evitando su pérdida irremediable ante posibles saqueos.

Finalmente, es crucial implementar medidas de conservación para los yacimientos arqueológicos subacuáticos en islas Cayos del Este Sudeste, no solo por su valor histórico, sino también por su rol en la biodiversidad marina. Para ello será necesario vincular las competencias interinstitucionales e intersectoriales de cada una de las entidades encargadas en la protección de estos bienes y los contextos naturales que los rodean, reconociendo su interdependencia.

AGRADECIMIENTOS

La investigación fue desarrollada gracias al apoyo de las diferentes instituciones involucradas en su planeación, desarrollo y conclusión: la Dirección General Marítima (Dimar), la Armada Nacional de Colombia (ARC), el Centro de Estudios Oceanográficos e Hidrográficos del Caribe (CIOH), la Comisión Colombiana del Océano (CCO), el Departamento de Buceo y Salvamento (Debusa), y la Universidad Nacional de Colombia-Sede Caribe.

Agradecemos profundamente el apoyo de los coinvestigadores Santiago Arango "Tiago" y Peter Betancur "Lampa", quienes descubrieron los contextos arqueológicos sumergidos; así como a Santiago Estrada y Esteban Herrera, quienes eran parte del componente audiovisual de la Expedición y realizaron el registro audiovisual subacuático.

Asimismo, extendemos un particular agradecimiento al CALM Hermann Aicardo León Rincón, al CN Germán Augusto Escobar Olaya, al CF Julio Cristancho, al CC Jonathan Gómez, a la CC Andrea Montaña, al CC Moisés Camacho, al CC Saúl Vallejo, al TN Carlos Peña, al TN Nicolás

Lizarazo, al SJ Jhon Valencia, al S1 Carlos Rubio, al S1 Juan Santana, a Ana Isabel Márquez, a Andrés López, a Juliana Acero, a David Barrios, a Sally Flores, a Juan Sarmiento, a Daniela Acosta, a Fernando Cadena, a Brianna Bambic, a Gloria López, a Nubia Garzón, a Brock Steele, a Paola Echeverry Hernández, a Angie Castiblanco, a Carlos Reina y a Ricardo Borrero.

FUENTE FINANCIADORA

El presente proyecto de investigación se desarrolló en la línea de Cultura y Educación, en el marco de la Expedición Científica Seaflower 2022: Isla Cayos de Bolívar, coordinada por la Comisión Colombiana del Océano (CCO), con el apoyo de la Dirección General Marítima (Dimar) y la Armada Nacional de Colombia (ARC).

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, C.D.C.H., J.A.A.M., M.M.C., L.V.B.S., J.C.J., G.L.H., C.R.A., A.C.S., L.L.B.T.; metodología, C. D.C.H., J.A.A.M., M.M.C., L.V.B.S., J.C.J., G.L.H., C.R.A., A.C.S., L.L.B.T.; software, J.A.A.M.; análisis e investigación, C. D.C.H., J.A.A.M., M.M.C., L.V.B.S., C.R.A., L.L.B.T. J.C.J.; recursos, A.C.S., M.M.C., G.L.H.; curación de datos, C. D.C.H., J.A.A.M., M.M.C., L.V.B.S., C.R.A., L.L.B.T. J.C.J.; redacción-preparación del borrador original, C.D.C.H., J.A.A.M., L.V.B.S.; redacción-revisión y edición, C.D.C.H., J.A.A.M., L.V.B.S.; visualización, C.D.C.H., J.A.A.M., L.V.B.S.; supervisión, A.C.S., M.M.C., G.L.H.; administración del proyecto, A.C.S., M.M.C., G.L.H.; consecución de fondos, A.C.S., M.M.C., G.L.H. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade-Amaya, C. A. (2010). *Caracterización morfológica y dinámica litoral de los cayos habitados del Archipiélago de San Andrés y Providencia, en el Caribe colombiano*. Proyecto Estabilización Geomorfológica de los Cayos del Archipiélago de San Andrés y Providencia. Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Facultad de Oceanografía Física.
- Archibold Núñez, J. (2014). *Fort Warwick / Fuerte de la Libertad Santa Catalina y Providencia: informe sobre su historia*. Inédito.

- Ardila Pinilla (1964) A la fragata Almirante Padilla; Revista de las Fuerzas Armadas 12: 197-. DOI 10.25062/0120-0631.3541
- Blunt, E. M. (1867). *The American Coast Pilot: Containing directions for the principal harbors, capes, and headlands, on the coast of North and part of South America; describing the soundings, bearings of the light-houses and beacons from the rocks, shoals, ledges, etc.* G.W. Blunt. <https://books.google.it/books?id=uX1-AAAAIAAJ>
- Caro Triana, J. E. (2012). Maniobra de salvamento fragata «Almirante Padilla» Junio de 1964. *Pañol de la Historia*, 44.
- Colledge, J. J. y Warlow, B. (2010). *Ships of the Royal Navy: The complete record of all fighting ships of the Royal Navy from the 15th century to the present.* Casemate Publishers. <https://books.google.com.co/books?id=WfODMIsqtTQC>
- Cumming, S. (2017). *Providence, Santa Catalina and San Andrés (1629-1901): The Butler diary and other curiosities.* Providencia: Bottom House Publishing.
- De Herrera, A. (1601). *Historia general de los hechos de los castellanos en las islas y tierra firme del mar océano. Tomo 1.* Madrid: en la Oficina Real de Nicolas Rodriguez Franco. Consulté à l'adresse <http://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/bnd/632/w3-article-334675.html>
- Del Cairo, C.; Riera, C.; Aldana, J.; Báez, V.; Caro, G.; Chávez, A. y Peñarete, A. (2019). *Patrones de navegabilidad, accidentalidad y hundimiento en el Caribe Colombiano: siglos XVI-XX. Como insumo para el registro nacional de patrimonio arqueológico sumergido. Fase piloto 1.* Universidad Externado de Colombia-Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- Del Cairo, C.; Chadid, A.; Quintana, D.; López, A.; Aldana, J.; Báez, V.; Sarmiento, J.; Acosta, D. y Moreno, M. (2020). *Apropiación social del paisaje cultural marítimo en Providencia y Santa Catalina: caracterización del espacio náutico desde una perspectiva histórica.* Dirección General Marítima (Dimar) - Instituto Colombiano de Antropología e Historia (Icanh).
- Del Cairo, C.; Báez, V.; Chadid, A.; Moreno, M.; Hernández, G.; Vallejo, S.; Quintana, D.; Andrade, C.; López, A. y Guzmán, R. (2021). *Desarrollo e implementación de la propuesta metodológica para el registro nacional del patrimonio sumergido en Colombia: fase piloto Cartagena de Indias y alrededores.* Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) - Dirección General Marítima (Dimar).
- Del Cairo, C.; Báez, V.; Aldana, J.; Sarmiento, J.; Acosta, D.; Moreno, M.; Chadid, A.; Hernández, G. y López, A. (2022). Aproximación arqueológica e histórica al paisaje marítimo de la movilidad y conectividad en Providencia y Santa Catalina (Colombia). *Revista Cuadernu*, 10. <https://doi.org/10.24310/Cuadernu.2340-6895>
- Del Cairo, C.; Moreno, M.; Aldana, J.; Báez, V.; Hernández, G.; Cuta, J.; Ballestas, L.; Riera, C.; Arango, S.; Betancur, P.; Chadid, A.; López, A. y Rubio, C. (2024a). *Aproximación al inventario del Patrimonio Cultural Sumergido en islas Cayos del Este Sudeste (Archipiélago de San Andrés y Providencia, Colombia).* Armada Nacional de Colombia (ARC) - Dirección General Marítima (Dimar).
- Del Cairo, C.; Riera, C.; Báez, V.; Chávez, A.; Caro, G. y Aldana, J. (2024b). Patrones de navegabilidad, accidentalidad y hundimiento en el Caribe colombiano: una propuesta para el registro del patrimonio cultural sumergido en Cartagena de Indias y la península de La Guajira. *Arqueología y Patrimonio*, 3(1), 99-127. <https://doi.org/10.22380/26652773.2758>
- Duncan, B. y Gibbs, M. (2015). Shipping mishaps and the maritime cultural landscape. In Please God send me a wreck (pp. 7-33). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2642-8_2 ; <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2642-8> ; https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2642-8_8
- Gamboa, L.; Posada, B. O.; González, O. C. y Hurtado, G. (2012). Descripción física del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. En D. I. Gómez-López, C. Segura-Quintero, P. C. Sierra-Correa, & J. Garay-Tinoco (Eds.), *Atlas de la Reserva de Biósfera Seaflower* (pp. 50-55). Instituto de

- Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andéís" (Invemar) - Coralina.
- Geister, J. y Díaz, J. M. (2007) Ambientes arrecifales y geología de un archipiélago: San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Mar Caribe, Colombia) con guía de campo. Ministerio de Minas y Energía, Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas). Imprenta Nacional de Colombia.
- Gómez Pretel, W. y Jeong, M. (2020). Shipwreck in the Caribbean Sea: Analysis in the loss of the U.S.S. Kearsarge-Roncador Cay, Colombia (1894). *Journal of Marine and Island Cultures*, 9(2). <https://doi.org/10.21463/jmic.2020.09.2.02>
- González, O. C. y Hurtado, G. (2012). Caracterización climática del Archipiélago de San Andrés y Providencia. En D. I. Gómez-López, C. Segura-Quintero, P. C. Sierra-Correa, & J. Garay-Tinoco (Eds.), *Atlas de la Reserva de Biósfera Seaflower* (pp. 50-55). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andéís" (Invemar) - Coralina.
- Lloyd's Register Foundation (1938) Casualty Returns 1938 https://www.google.it/books/edition/Casualty_Returns_1938/f7pgEAAAQBAJ?hl=en&gbpv=0
- Maritime Archaeological Sea Trust. (2017). Royal Navy Loss List Complete Database, (07455580). Consulté à l'adresse <http://www.thisismast.org/assets/downloads/rn-loss-list-2017-10-29.pdf>
- Márquez, A. I. (2014). Catboats, lanchs and canoes: Apuntes para una historia de las relaciones de las islas de Providencia y Santa Catalina con el Caribe centroamericano e insular a través de la construcción y el uso de embarcaciones de madera. *Passagens. Revista Internacional de História Política e Cultura Jurídica*, 6(3), 480-508.
- Meisel-Roca, A. (2003). *La continentalización de la isla de San Andrés, Colombia: panyas, raizales y turismo, 1953-2003*. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana, Banco de la República de Colombia. <https://doi.org/10.32468/dtseru.37>
- Meisel-Roca, A. (2016). *La estructura económica de San Andrés y Providencia en 1846. Economía y Medio Ambiente del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina*. <https://doi.org/10.32468/Ebook.664-328-3>
- Moreno, M.; Báez, V. (2021). Expedición Seaflower: el paisaje cultural marítimo de Providencia y Santa Catalina. Resultados preliminares. *Boletín Científico CIOH*, 40(1). <https://doi.org/10.26640/22159045.2021.566>
- Moreno, M. (2021). *La importancia del inventario del patrimonio cultural sumergido en el ordenamiento marino costero en Colombia*. I Congreso Iberoamericano de Arqueología Náutica y Subacuática (CIANYS). Libro de Resúmenes. <http://hdl.handle.net/10498/25256>
- Parsons, J. J. (1985). *San Andrés y Providencia una geografía histórica de las islas colombianas del Caribe*. Áncora Editores.
- Robinson, G.; Wall, D. (s. f.). *Energía*. Consultado 13 mayo 2023, <http://www.tynebuiltships.co.uk/E-Ships/energia1883.html>
- Rowland, D. (1935). Spanish Occupation of the Island of Old Providence, or Santa Catalina, 1641-1670. *The Hispanic American Historical Review*, 15(3), 298-312. <https://doi.org/10.2307/2506336> ; <https://doi.org/10.1215/00182168-15.3.298>
- The New York Times (Enero 30, 1938) CAPTAIN AND CREW SAVED; United Fruit Liner Takes 22 Off Norwegian Freighter <https://www.nytimes.com/1938/01/30/archives/captain-and-crew-saved-united-fruit-liner-takes-22-off-norwegian.html>
- United States. Hydrographic Office (1885) The Navigation of the Caribbean Sea and Gulf of Mexico: The coast of the mainland, from Cape Orange ... to the Rio Grande del Norte ... with the adjacent islands, cays and banks. Comp. by Lieut. W. W. Gillpatrick Vol II <https://books.google.it/books?id=sWgDAAAAYAAJ>
- Westerdahl, C. (2011). The maritime Cultural Landscape. In B. Ford, D. L. Hamilton, & A. Catsambis (Éd.), *The International Journal of Nautical Archaeology* (Vol. 21, p. 4-14). Oxford University Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226779386.003.0007>

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Detección de microorganismos patógenos en agua de lastre de buques de tráfico internacional que arribaron en puertos marítimos de la costa Atlántica colombiana durante los años 2020 a 2023

Detection of pathogenic microorganisms in ballast water of internationally trafficked vessels that arrived at maritime ports on the Colombian Atlantic coast during the years 2020 to 2023

DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2025.639>

Fecha de recepción: 2024-05-06 / Fecha de evaluación: 2025-07-25 / Fecha de aceptación: 2025-08-11

Ninibeth Nicol Cortés Leal¹, Karen López Suárez²

CITAR COMO:

Cortés, N. y López, K. (2025). Detección de microorganismos patógenos en agua de lastre de buques de tráfico internacional que arribaron en puertos marítimos de la costa Atlántica colombiana durante los años 2020 a 2023. *Boletín Científico CIOH*, 44(1), 19-28. <http://doi.org/10.26640/22159045.2025.639>

RESUMEN

El agua de lastre fue utilizada históricamente en las embarcaciones para mantener su estabilidad durante la navegación. Sin embargo, esta práctica representó un riesgo ambiental significativo, ya que facilitó el transporte de organismos marinos de un ecosistema a otro. Para mitigar este impacto, se implementaron regulaciones internacionales, entre ellas la norma D-2, establecida por la Organización Marítima Internacional (OMI), la cual exige la reducción o eliminación de organismos vivos mediante sistemas de tratamiento a bordo de los buques. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo realizar la detección de patógenos del agua de lastre en puertos marítimos colombianos, con la finalidad de verificar el cumplimiento de la Resolución 477 de 2012, emitida por la Dirección General Marítima (Dimar). El área de estudio incluyó los buques que arribaron a diversos puertos marítimos de Colombia. La metodología empleada fue la toma de muestras directamente de los tanques de agua de lastre para la detección de microorganismos indicadores definidos por la norma D-2, específicamente *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli* (E. coli) y enterococos intestinales, así mismo el estudio de la documentación de registros de buques para contrarrestar la validez de la investigación. Los resultados mostraron que *Vibrio cholerae* presentó una concentración <1 unidad formadora de colonia (UFC) por 100 ml en todos los años monitoreados (2020 a 2023). En el caso de E. coli, se evidenció crecimiento en un tanque de agua de lastre en el año 2023; no obstante, los valores se mantuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa. Por su parte enterococos intestinales mostró un crecimiento superior a 100 UFC/100 ml en dos buques muestreados durante los años 2020 y 2023, superando los valores estipulados por la norma D-2. De igual manera, los buques cumplen con los registros al día de la implementación de los sistemas de tratamiento. El estudio realizado refuerza la importancia de la existencia de normativas que permitan una gestión integral de la sostenibilidad ambiental en los océanos, y que al estar regulada el seguimiento es continuo.

PALABRAS CLAVE: agua de lastre, buque, filtración de agua, microorganismo, puerto, transporte marítimo.

¹ Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8417-6692>. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), Dirección General Marítima (Dimar). Correo electrónico: ninibethcortes@outlook.com

² Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6206-4577>. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), Dirección General Marítima (Dimar). Correo electrónico: klopez@dimar.mil.co

ABSTRACT

*Ballast water has historically been used in vessels to maintain their stability during navigation. However, this practice posed a significant environmental risk, as it facilitated the transport of marine organisms from one ecosystem to another. To mitigate this impact, international regulations were implemented, including the D-2 standard established by the International Maritime Organization (IMO), which requires the reduction or elimination of living organisms through onboard treatment systems. In this context, the present study aimed to detect pathogens in ballast water in Colombian seaports, in order to verify compliance with Resolution 477 of 2012 issued by the General Maritime Directorate (DIMAR). The study area included the ships that arrived at various Colombian seaports. The methodology used was the sampling directly from the ballast water tanks for the detection of indicator microorganisms defined by standard D-2 specifically *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli* (*E. coli*) and intestinal enterococci. The results also included a review of vessel log documentation to verify the validity of the investigation, showed that *Vibrio cholerae* presented a concentration of <1 colony-forming unit (CFU) per 100 ml in all monitored years (2020 to 2023). In the case of *E. coli*, growth was evidenced in one ballast water tank in the year 2023; however, the values remained within the permissible limits established by the regulation. For its part, intestinal enterococci showed a growth exceeding 100 CFU/100 ml in two sampled ships in the years 2020 and 2023, exceeding the values stipulated by standard D-2. Similarly, the vessels comply with the records as of the implementation of the treatment systems. The study reinforces the importance of having regulations that allow for comprehensive management of environmental sustainability in the oceans, and that, when regulated, monitoring is continuous.*

KEYWORDS: *Ballast water, ship, water filtration, microorganism, ports, maritime transport.*

INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo internacional constituye la columna vertebral del comercio global, movilizandando cerca del 80 % del intercambio mundial de mercancías (UNCTAD, 2017; 2023). Sin embargo, esta misma actividad, indispensable para la economía planetaria, enfrenta desafíos ambientales significativos que demandan una transición urgente hacia modelos operativos más sostenibles. Entre estos retos, uno de los más críticos, aunque menos visibilizados es la descarga incontrolada del agua de lastre por parte de embarcaciones internacionales; un proceso rutinario que, paradójicamente, amenaza la biodiversidad marina y la salud humana a escala global.

El agua de lastre, esencial para la estabilidad estructural de los buques puede transportar y liberar miles de organismos acuáticos, desde microorganismos hasta especies invasoras en ecosistemas que no poseen mecanismos de defensa frente a ellos. Esta transferencia biológica no intencional ha sido asociada con impactos ecológicos profundos, alteraciones en la funcionalidad de los ecosistemas y la propagación de agentes patógenos (Ruiz *et al.*, 2000; Davidson *et al.*, 2017).

Como respuesta a este riesgo emergente, la comunidad internacional ha fortalecido las regulaciones sobre la gestión del agua de lastre particularmente a través de la implementación de la norma D-2 del Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques, establecida por la OMI, cuyo objetivo es determinar que la gestión del agua de lastre cumpla con los criterios microbiológicos y con el respectivo límite de descarga al mar, como se indica en la Tabla 1 (OMI, 2004).

Los tres microorganismos por determinar son patógenos. *Vibrio cholerae* forma parte de la microbiota acuática, tiene más de 200 serogrupos conocidos, solo 2 de ellos causan cólera; otros serogrupos no causan cólera, pero pueden causar diarrea sanguinolenta, gastroenteritis e infecciones extraintestinales (Bakalar, 2016). Por otra parte, *E. coli* es una bacteria que habita normalmente en el intestino de humanos y animales de sangre caliente, algunas de sus cepas pueden causar enfermedades gastrointestinales, urinarias o sistémicas. Su presencia en aguas ambientales es considerada como un indicador de contaminación fecal, su descarga al medio ambiente es a través de heces o efluentes de aguas residuales (Jang *et al.*, 2017).

Los enterococos son bacterias oportunistas que pueden causar un gran número de infecciones en humanos y animales. Dado que se excretan a través de las heces, se encuentran de manera habitual en aguas contaminadas y resultan fáciles de cultivar en laboratorio. Estas características han favorecido su uso como indicadores microbiológicos de contaminación fecal y como sustitutos de patógenos de transmisión hídrica en estudios de investigación y en programas de monitoreo de la calidad del agua a nivel mundial, especialmente en contextos de exposición a aguas recreativas (Byappanahalli *et al.*, 2012).

Asimismo, en Colombia, la Dimar, mediante la Resolución 477 de 2012, ha adoptado medidas concretas de verificación y monitoreo, con el apoyo técnico del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), para controlar el ingreso de organismos invasores a través de los puertos del Caribe colombiano.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la presencia y concentración de microorganismos patógenos en el agua de lastre descargada por embarcaciones internacionales en puertos del Caribe colombiano, con el fin de establecer el cumplimiento de los

estándares internacionales y nacionales vigentes, y aportar evidencia técnica que oriente la toma de decisiones en la gestión ambiental del transporte marítimo. Esta investigación busca así contribuir a la protección de los ecosistemas marinos, al tiempo que fortalece el rol de los puertos colombianos como actores responsables en el comercio marítimo sostenible.

Tabla 1. Límites de descarga según norma OMI D-2.

Microorganismos	Límite de descarga
<i>Vibrio cholerae</i>	<1 UFC/ 100 ml
<i>Escherichia coli</i>	<250 UFC/ 100 ml
Enterococos intestinales	<100 UFC/ 100 ml

ÁREA DE ESTUDIO

Durante los años 2020-2023 se seleccionaron aleatoriamente quince (15) embarcaciones de tráfico internacional que arribaron a los puertos de Coveñas (Sucre), Cartagena (Bolívar), Puerto Bolívar (La Guajira), Santa Marta (Magdalena) y Barranquilla (Atlántico), cuya ubicación se observa en la Figura 1, con el fin de realizar verificación de la gestión del agua de lastre.

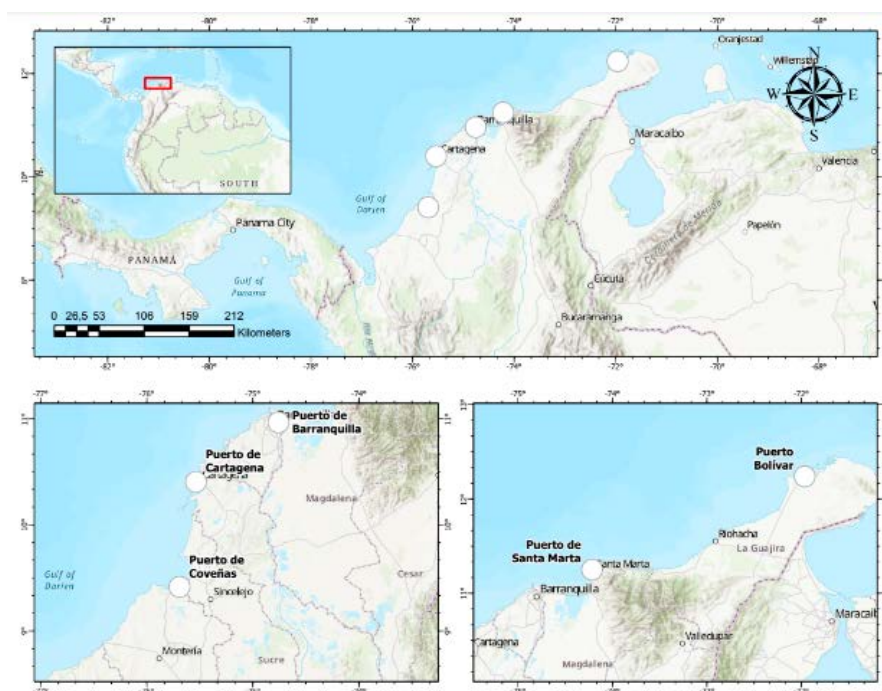


Figura 1. Ubicación puertos de Coveñas-Sucre, Cartagena-Bolívar, Puerto Bolívar-La Guajira, Santa Marta-Magdalena y Barranquilla-Atlántico.

METODOLOGÍA

Tomas microbiológicas

Para la recolección de muestras microbiológicas, se utilizaron frascos Schott® de vidrio, con una capacidad de 500 ml. Previo al inicio de la campaña fueron sometidos a un proceso de lavado especial y desinfección, con el objetivo de garantizar condiciones estériles durante la toma de muestra. Posteriormente, fueron empacados y rotulados en papel Kraft para asegurar su correcta identificación.

La toma de muestras se llevó a cabo mediante la recolección de agua de lastre desde los manholes de los buques, utilizando una botella Niskin. Este equipo fue introducido dentro del tanque de lastre hasta alcanzar la profundidad deseada, permitiendo la toma representativa de la muestra. Una vez colectada, el agua fue trasvasada a los frascos Schott®, dejando un espacio de aire en el interior de cada frasco para facilitar la agitación homogénea de la muestra durante su posterior análisis en el laboratorio (Fig. 2).



Figura 2. Muestreo microbiológico de agua de lastre a bordo de buques.

Finalmente, las muestras fueron almacenadas en neveras portátiles con hielo, asegurando una temperatura de conservación inferior a los 10°C durante todo el proceso de transporte hacia el laboratorio.

Procesamiento de muestras microbiológicas

La preparación de las muestras se realizó en campo, siguiendo los protocolos establecidos por el laboratorio de la Dimar, Sede Caribe, con el propósito de preservar la integridad de las muestras y asegurar la obtención de resultados microbiológicos confiables.

Las técnicas analíticas empleadas para cada parámetro se describen en la Tabla 2. Los métodos de detección de microorganismos han variado con el paso de los años, de acuerdo con los procedimientos vigentes del laboratorio (Dimar). Sin embargo, todos ellos se consideran válidos y responden a los estándares y capacidades técnicas disponibles en ese momento.

Los análisis microbiológicos se enfocaron en la detección y cuantificación de *Vibrio cholerae*, *E. coli* y enterococos intestinales, como indicadores de contaminación microbiana en el agua de lastre.

Tabla 2. Técnicas de análisis utilizadas para *Vibrio cholerae*, *E. coli* y enterococos intestinales.

Año de muestreo	Parámetro	Técnica	Norma de referencia	Descripción general
2020 - 2021	<i>Vibrio cholerae</i>	Filtración por membrana	SM 9260H "modificado" (APHA/AWWA/WEF, 2017).	Enriquecimiento: agua peptonada alcalina al 1 % Agar: TCBS, BHI, CromoAgar. T° de incubación: 35±2°C Tiempo de incubación: 18 a 24 horas. Pruebas bioquímicas: cuerda y oxidasa
	<i>Escherichia coli</i>	Filtración por membrana	SM 9222D (APHA, et al., 2017).	Aislamiento en agar selectivo: m-FC T° de incubación: 44,5 ± 0,2°C Tiempo de incubación: 24±2 horas Pruebas confirmatorias en: Caldo EC-MUG, Caldo Lauril Triptosa, Caldo Brilla, Indol y Citrato.
	<i>Enterococcus</i>	Filtración por membrana	SM 9230C (APHA, et al., 2017).	Aislamiento en agar selectivo: m-Enterococcus, BHI T° de incubación: 35±0,5°C Tiempo de incubación: 48± 3 horas Pruebas confirmatorias en: Caldo BHI, Agar Bilis Esculina, Caldo BHI, Caldo BHI con 6.5 % NaCl.
2023	<i>Vibrio cholerae</i>	Filtración por membrana	SM 9260H "modificado" (APHA, et al., 2017).	Enriquecimiento: agua peptonada alcalina al 1 % Agar: TCBS, BHI, CromoAgar. T° de incubación: 35±2°C Tiempo de incubación: 18 a 24 horas. Pruebas bioquímicas: cuerda y oxidasa.
	<i>Escherichia coli</i>	Filtración por membrana	ISO 9308-1:2014/A1:2017 "modificado" (International Organization for Standardization, 2017).	Aislamiento en agar selectivo: CCA T° de incubación: 36°± 2°C Tiempo de incubación: por 21-24 horas. Pruebas confirmatorias en: Indol
	Enterococos intestinales	Filtración por membrana	UNE-EN ISO 7899-2:2000 (Asociación Española de Normalización, 2000).	Aislamiento en agar selectivo: Agar Slanetz & Bartley (agar m-Enterococcus) T° de incubación: 36°± 2°C Tiempo de incubación: 44 ± 4 horas. Pruebas confirmatorias en: agar bilis esculina.

Soportes documentales de evidencia

Para respaldar los hallazgos de esta investigación, se recopilaron y analizaron diversos soportes documentales, tales como registros y trazabilidad de la documentación de los buques y normativa vigente relacionada con el tema de estudio. Estos documentos fueron seleccionados por su pertinencia y confiabilidad, verificando su autenticidad mediante la revisión de fuentes oficiales.

Los soportes documentales se utilizaron principalmente para contrastar la información obtenida mediante entrevistas y observaciones, permitiendo la triangulación de datos y fortaleciendo la validez de los resultados. Toda la documentación fue resguardada en formato digital y físico, según los protocolos de confidencialidad establecidos para la investigación.

RESULTADOS

Durante el periodo 2020-2023, de los quince (15) buques muestreados no se evidenció crecimiento de *Vibrio cholerae* en ninguno de sus tanques evaluados. En cuanto a *E. coli*, solo se detectó crecimiento en una de las muestras: el tanque WBT4S del buque *UBC Savannah*, muestreado en el puerto de Barranquilla durante 2023, con valor de 3 UFC/100 ml. No obstante, esta concentración se encuentra dentro del límite permitido por la Resolución Dimar 477 de 2012.

En contraste, la presencia de enterococos intestinales fue más frecuente, detectándose en siete (7) de los quince (15) buques analizados a lo largo del periodo. Dos de estos casos excedieron los valores máximos establecidos por la normativa: el buque Jackeline C., en el puerto de Cartagena (2020), con 152 UFC/100 ml, y el buque UBC Savannah, en el puerto de Barranquilla (2023), con 158 UFC/100 ml, tal como se detalla en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de los microorganismos obtenidos en las muestras de los buques muestreados durante el periodo 2020-2023.

Año	Área	Buque	Tanque	<i>Vibrio cholerae</i> (UFC/100ml)	<i>E. coli</i> (UFC/100ml)	Enterococos intestinales (UFC/100ml)
2020	Coveñas	Eagle Kinarut	3BS	<1	<1	2
			6BS	<1	<1	22
			6P	<1	<1	23
	Velos Aquarius		3 PORT WGT	<1	<1	<1
			4 PORT WGT	<1	<1	9
			3 STBD WGT	<1	<1	3
			4 STBD WGT	<1	<1	5
	Cartagena	Velebit	WBT 4P	<1	<1	<1
			WBT 2P	<1	<1	<1
			WBT 2S	<1	<1	<1
		Jackeline C.	3SWBT	<1	<1	152
			5SWBT	<1	<1	97
			5BWBT	<1	<1	53
		Silver Manoora	5WBTS	<1	<1	<1
			5WBTP	<1	<1	7
	Aurora N		T5	<1	<1	<1
			T4P	<1	<1	<1
			T3S	<1	<1	<1

Año	Área	Buque	Tanque	<i>Vibrio cholerae</i> (UFC/100ml)	<i>E. coli</i> (UFC/100ml)	Enterococos intestinales (UFC/100ml)
2021	Santa Marta	Elizabeth II	5 TST	<1	<2	<1
			6 TST	<1	<2	<1
			4 TST	<1	<2	<1
		Tiger South	WBT 5	<1	<2	<1
			WBT 4	<1	<2	<1
		BW Japan	1TSWB	<1	<2	<1
			3TSWB	<1	<2	<1
	Puerto Bolívar	Algoma Victory	ST1P	<1	<2	1
			ST1S	<1	<2	<1
		Green Universe	ST 3T	<1	<2	3
			ST 1T P	<1	<2	8
			ST 1T S	<1	<2	<1
		UBC Santa Marta	4WB P	<1	<2	<1
			4WB S	<1	<2	<1
2023	Cartagena	CMA CGM BERLIOZ	NO5 SWBT(P)	<1	<1	<1
			NO5 SWBT(S)	<1	<1	<1
		Polar Brasil	4BWTP	<1	<1	<1
			4WBTS	<1	<1	<1
	Barranquilla	UBC Savannah	WBT4S	<1	3	15
			WBT4P	<1	<1	158

Nota. Los resultados resaltados en color gris indican que hubo presencia de microorganismos, los resultados en color rojo excedieron los valores permisibles.

Durante el análisis de los resultados, los soportes documentales recopilados como los registros técnicos de mantenimiento, la trazabilidad de la documentación de los buques y la normativa vigente sirvieron como evidencia complementaria para contrastar la información obtenida en las entrevistas y observaciones.

Estos documentos permitieron verificar la correspondencia entre las prácticas reportadas por el personal y los procedimientos establecidos oficialmente, evidenciando coincidencias y brechas en la aplicación de los sistemas de tratamiento de agua de lastre. La revisión documental también aportó contexto normativo y técnico que fortaleció la interpretación de los hallazgos y permitió comprender las variaciones observadas entre diferentes embarcaciones.

Estos hallazgos reflejan el cumplimiento con los parámetros establecidos por la normativa internacional D-2 en cuanto a *Vibrio cholerae* y *E. coli*, pero alertan sobre una recurrencia de enterococos intestinales fuera de norma; lo cual puede indicar deficiencias puntuales en los sistemas de tratamiento o en los protocolos de mantenimiento y monitoreo a bordo (OMI, 2004).

Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en el monitoreo de los tanques de agua de lastre de buques que arribaron a puertos colombianos entre 2020 y 2023, se evidenció que los indicadores microbiológicos *Vibrio cholerae* y *Escherichia coli* cumplieron con los límites permisibles establecidos en la norma D-2 del Convenio

Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques (OMI, 2004). Sin embargo, se detectó la presencia de enterococos intestinales en los buques Jackeline C. y UBC Savannah, muestreados en los puertos de Cartagena (2020) y Barranquilla (2023), respectivamente.

Esta situación podría estar relacionada con la variabilidad en la eficiencia de los sistemas de tratamiento de agua de lastre, los cuales pueden presentar un desempeño bajo o alto dependiendo del diseño, el mantenimiento y las condiciones operativas (Bakalar, 2016).

Según la documentación presentada por la tripulación encargada de los buques, la mayoría de los sistemas de tratamiento utilizan tecnologías combinadas de filtración mecánica y radiación ultravioleta (UV); un método efectivo, aunque con limitaciones frente a ciertos organismos resistentes, como algunos tipos de fitoplancton y zooplancton. Las bacterias, por el contrario, suelen ser más sensibles a la radiación UV (Nanayakkara *et al.*, 2011). Diversos estudios han señalado que la combinación de separación mecánica y radiación UV incrementa la tasa de inactivación de microorganismos (Hess-Erga, *et al.*, 2019; Romero-Martínez, *et al.*, 2014).

En contraste, el buque UBC Savannah emplea un sistema de filtración combinado con electrocloración, una tecnología considerada altamente eficaz para la desinfección del agua de lastre, particularmente en escenarios donde existe alto riesgo microbiológico. Este sistema genera cloro *in situ* mediante electrolisis de una solución salina, lo que permite la inactivación de bacterias, virus y otros patógenos (Hess-Erga *et al.*, 2019). Aunque diversos estudios han demostrado su efectividad frente a las fracciones planctónicas incluidas en la norma D-2, su principal desventaja es el elevado costo operativo (First, *et al.*, 2016; Tsolaki & Diamadopoulos, 2010).

La detección de crecimiento bacteriano en estos buques podría estar relacionada con fallas operativas en los sistemas de tratamiento, tales como un mantenimiento deficiente, concentraciones inadecuadas de sal o cloro, o la presencia de biofilms en las tuberías, lo cual compromete la efectividad del proceso (Stehouwer, *et al.*, 2015).

Específicamente enterococos intestinales fue más prevalente, por ser un microorganismo que tolera condiciones adversas como cambios de pH, altas concentraciones de sal y presencia de desinfectantes; asimismo, sobrevive mejor en aguas contaminadas y suelos en comparación con otras especies del mismo género (Byappanahalli *et al.*, 2012).

La detección de patógenos en el agua de lastre de buques de tráfico internacional es fundamental por su importancia sanitaria, ya que contribuye a la prevención de enfermedades infecciosas. Un buque contaminado puede convertirse en un foco de brotes a bordo y representar un riesgo de diseminación en los puertos de destino. Desde el ámbito ambiental, este control permite evitar la introducción de especies y microorganismos invasores que alteran los ecosistemas marinos locales y desplazan especies nativas, reduciendo así los impactos negativos sobre la fauna y flora ocasionados por microorganismos no autóctonos (Sellera, *et al.*, 2024).

Finalmente, el presente estudio constituye una primera aproximación para evidenciar el estado actual de cumplimiento de la norma D-2 por parte de los buques que ingresan a puertos del Caribe colombiano (OMI, 2004).

Como proyección a futuras investigaciones, el presente estudio constituye una base metodológica para establecer correlaciones entre la trazabilidad del proceso y los sistemas de control, considerando su aplicabilidad como indicadores de desempeño en los resultados microbiológicos.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación permitieron validar la hipótesis inicial: el monitoreo adecuado del agua de lastre en embarcaciones de tráfico internacional es fundamental para mitigar la introducción de especies no autóctonas y proteger los ecosistemas marinos. El análisis de los indicadores microbiológicos evidenció la presencia potencial de microorganismos que podrían alterar el equilibrio natural de los ecosistemas acuáticos, confirmando la necesidad de un control riguroso de este tipo de aguas. Asimismo, se constató que los sistemas de tratamiento que utilizan los buques no solo

cumplen con los requerimientos normativos vigentes, sino que también optimizan la eficiencia operativa de estas embarcaciones al reducir la carga contaminante antes de su descarga.

Esta investigación permite generar futuras líneas de trabajo, tales como el desarrollo de tecnologías más eficientes para el tratamiento del agua de lastre, estudios comparativos entre diferentes sistemas de tratamientos o la evaluación de impactos ecológicos a largo plazo en zonas receptoras. Los hallazgos aquí presentados refuerzan la importancia de una gestión integral y proactiva en el transporte marítimo internacional, con miras a preservar la salud ambiental y la sostenibilidad de los océanos.

AGRADECIMIENTOS

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) de la Dirección General Marítima (Dimar).

FUENTE FINANCIADORA

Proyecto 'Producir información técnica-científica para PMM en áreas marinas y zonas portuarias' para la verificación de cumplimiento de eficacia de acuerdo con Resolución Dimar 477/2012. Dirección General Marítima (Dimar).

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: N.N.C.L.; K.L.S.; Metodología: N.N.C.L.; Análisis formal: N.N.C.L.; K.L.S.; Redacción – preparación del borrador original: N.N.C.L.; Redacción – revisión y edición: K.L.S.; Supervisión: K.L.S.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almagro-Moreno S. y Taylor, R. K. (2013). Cholera: Environmental Reservoirs and Impact on Disease Transmission. *Microbiol Spectr* 1:10.1128/microbiolspec.oh-0003-2012. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.oh-0003-2012>. PMCID:PMC4321695

APHA/AWWA/WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (23rd ed.). American Public Health Association.

Asociación Española de Normalización. (2000). *UNE-EN ISO 7899-2:2000*. Calidad del agua

- Detección y enumeración de enterococos intestinales - Parte 2: Método de filtración de membrana. AENOR.

Bakalar, G. (2016). Comparisons of interdisciplinary ballast water treatment systems and operational experiences from ships. In *SpringerPlus* (Vol. 5, Issue 1, pp. 1–12). SpringerOpen. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1916-z>. PMID:27026934 PMCID:PMC4771674

Byappanahalli, M.N.; Nevers, M.B.; Korajkic, A.; Staley, Z.R. y Harwood, V.J. (2012). Enterococci in the environment. *Microbiol Mol Biol Rev.* 2012 Dec;76(4):685-706. DOI: 10.1128/MMBR.00023-12. PMID: 23204362; PMCID: PMC3510518.

Davidson, I. C.; Minton, M. S.; Carney, K. J.; Miller, A. W. y Ruiz, G. M. (2017). Pioneering patterns of ballast treatment in the emerging era of marine vector management. *Marine Policy*, 78 (November 2016), 158–162. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.01.021>

First, M. R.; Robbins-Wamsley, S. H.; Riley, S. C. y Drake, L. A. (2016). Towards minimizing transport of aquatic nuisance species in ballast water: Do organisms in different size classes respond uniformly to biocidal treatment?. *Biological Invasions*, 18(3), 647–660. <https://doi.org/10.1007/s10530-015-1036-7>

Hess-Erga, O. K.; Moreno-Andrés, J.; Enger, Ø. y Vadstein, O. (2019). Microorganisms in ballast water: Disinfection, community dynamics, and implications for management. In *Science of the Total Environment* (Vol. 657, pp. 704–716). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.004>. PMID:30677936

International Organization for Standardization. (2017). *ISO 9308-1:2014/A1:2017*. Water quality — Enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria — Part 1: Membrane filtration method for waters with low bacterial background flora — Amendment 1. ISO.

Jang, J.; Hur, H.G.; Sadowsky, M.J.; Byappanahalli, M.N.; Yan, T. y Ishii, S. (2017). Environmental *Escherichia coli*: ecology and public health implications-a review. *J Appl Microbiol.* 2017 Sep;123(3):570-581. doi: 10.1111/jam.13468. Epub 2017 Jul 3. PMID: 28383815.

- Nanayakkara, K. G. N.; Zheng, Y. M.; Alam, A. K. M. K.; Zou, S. y Chen, J. P. (2011). Electrochemical disinfection for ballast water management: Technology development and risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 63(5–12), 119–123. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.03.003>. PMID:21474153
- Organización Marítima Internacional. (2004). *Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques (Estándar D-2)*. Londres: OMI. <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/BallastWaterManagement.aspx>
- Resolución 477 de 2012, (2012).
- Romero-Martínez, L.; Moreno-Andrés, J.; Acevedo-Merino, A. y Nebot, E. (2014). Improvement of ballast water disinfection using a photocatalytic (UV-C + TiO₂) flow-through reactor for saltwater treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 89(8), 1203–1210. <https://doi.org/10.1002/jctb.4385>
- Ruiz, G. M.; Rawlings, T. K.; Dobbs, F. C.; Drake, L. A.; Mullady, T.; Huq, A. y Colwell, R. R. (2000). Global spread of microorganisms by ships. *Nature*, 408(6808), 49–50. <https://doi.org/10.1038/35040695>. PMID:11081499
- Sellera, F. P.; Lincopan, N.; Stehling, E. G. y Furlan, J. P. R. (2024). Critical-priority resistant bacteria hidden in ship ballast water: A challenge for global epidemiological surveillance. *New Microbes and New Infections*, 58, 101236. <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2024.101236>. PMID:38533484 PMCID:PMC10963218
- Stehouwer, P. P.; Buma, A. y Peperzak, L. (2015). A comparison of six different ballast water treatment systems based on UV radiation, electrochlorination and chlorine dioxide. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 36(16), 2094–2104. <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1021858>. PMID:25704551
- Tsolaki, E. y Diamadopoulos, E. (2010). Technologies for ballast water treatment: A review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 85(1), 19–32. <https://doi.org/10.1002/jctb.2276>
- UNCTAD, S. de la C. de las N. U. sobre C. y D. (2017). *Informe sobre el transporte marítimo 2017*. 19098.
- UNCTAD, S. de la C. de las N. U. sobre C. y D. (2023). *Informe sobre transporte marítimo 2023*. <https://doi.org/10.30875/f8c67971-es>

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Evaluación de la erosión y acreción costera en la bahía externa de Buenaventura entre 1969 y 2023

Assessment of coastal erosion and accretion in the Buenaventura External Bay between 1969 and 2023

DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2025.646>

Fecha de recepción: 2024-07-30 / Fecha de evaluación: 2025-08-15 / Fecha de aceptación: 2025-09-15

Diana Carolina Niño Pinzón¹, Kevin Andrés Eisinguer Valderrama²

CITAR COMO:

Niño, D. C. y Eisinger, K. A. (2025). Evaluación de la erosión y acreción costera en la bahía externa de Buenaventura entre 1969 y 2023. *Boletín Científico CIOH*, 44(1), 29-39. <https://doi.org/10.26640/22159045.2025.646>.

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados obtenidos del análisis de la evolución de la línea de costa entre 1969 y 2023 en los sectores de isla Soldado, isla Santa Bárbara, Bazán Bocana y Piangüita (bahía externa de Buenaventura). La digitalización de la línea de costa se realizó bajo una perspectiva geomorfológica y fisiográfica, y para la cuantificación de los cambios se utilizó el software Digital Shoreline Analysis System (DSAS, por sus siglas en inglés). Se calcularon las tasas de erosión/acreción, los movimientos netos de la línea de costa y la mayor distancia entre todas las líneas de costa independientemente de las fechas, encontrando que las tasas de erosión y acreción fueron en Bazán Bocana y Piangüita estuvieron dentro del rango ± 2 m/año; en isla Soldado, entre 10.7 y -10.74 m/año, e isla Santa Bárbara, entre 5.9 y -8.92 m/año; clasificando estas líneas de costa como estables en Bocana y Piangüita, y con erosión y acreción alta en las islas.

PALABRAS CLAVES: línea de costa, erosión costera, acreción, Pacífico, Colombia.

ABSTRACT

This article presents the results obtained from the analysis of the evolution of the coastline between 1969 and 2023 in the sectors of Soldado Island, Santa Bárbara Island, Bazán Bocana and Piangüita (Buenaventura external Bay). The digitization of the coastline was carried out from a geomorphological and physiographic perspective, and DSAS (Digital Shoreline Analysis System) software was used to quantify the changes. Erosion/accretion rates, net shoreline movements and the greatest distance between all shorelines were calculated regardless of dates, finding that erosion and accretion rates were: at Bazán Bocana and Piangüita were within the range ± 2 m/yr, at Soldado Island between 10.7 and -10.74 m/yr, and Santa Bárbara Island between 5.9 and -8.92 m/yr. Classifying these shorelines as stable at Bocana and Piangüita, and with high erosion and accretion on the islands.

KEYWORDS: Shoartline, coastal erosion, accretion, Pacific, Colombia

¹ Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5557-4517>. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP) de la Dirección General Marítima (Dimar). Correo electrónico: dnino@dimar.mil.co

² Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-9707-1957>. Universidad de Antioquia. Correo electrónico: kevin.eisinguer@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La erosión costera se define como el retroceso de la costa o la erosión de las playas como resultado de la interacción entre los materiales que conforman la línea de costa y los agentes erosivos naturales y antropogénicos (Ungrd, 2017). El interés de la población en las zonas costeras por brindar oportunidades comerciales, turísticas, de transporte, de recursos y de comunicaciones (Cohen *et al.* 1997 en Dimar-CCCP, 2013) ha ejercido una fuerte presión en ellas, conllevando a la destrucción de hábitats, contaminación, erosión y agotamiento de recursos, generando conflictos entre los usuarios y problemas socioeconómicos (MinAmbiente, 2017).

Actualmente, a nivel global, el retroceso de la línea de costa por erosión se destaca entre las principales amenazas a las que están sometidas las zonas costeras y se relaciona con el ascenso del nivel del mar en función del cambio climático, pues al aumentar el nivel del mar aumenta la amenaza a las zonas costeras frente a desastres naturales, siendo este aumento directamente proporcional a la magnitud de este y, por ende, las áreas de inundación producidas son más extensas (Duncan *et al.*, 2008).

Actualmente, a nivel global, el retroceso de la línea de costa debido a la erosión se reconoce como una de las principales amenazas para las zonas costeras. Esta problemática está estrechamente relacionada con el aumento del nivel del mar provocado por el cambio climático. A medida que el nivel del mar se eleva, también lo hace el riesgo de desastres naturales en estas áreas, ya que dicho incremento intensifica la exposición y vulnerabilidad del litoral. En consecuencia, las zonas de inundación se vuelven más extensas, en proporción directa a la magnitud del ascenso del nivel del mar (Duncan *et al.*, 2008).

En Colombia, los litorales Caribe y Pacífico no son ajenos a estos procesos de erosión, producto de la acción de la naturaleza o por intervenciones antrópicas, traducidas en el cambio de las líneas de costa, procesos que, según Correa y Vernet (2004), Invemar-GEO (2015), Paniagua (2013) y Vernet *et al.* (2012), se han agudizado en las tres últimas décadas, convirtiéndose en un problema que se traduce en pérdida de playas, acantilados y otras geoformas costeras (Posada *et al.* 2009).

En aras de preservar y/o generar ganancias en estas zonas, se llevan a cabo construcciones como obras de protección y de recreación sin los estudios pertinentes, lo que provoca en la mayoría de los casos, efectos contrarios a los deseados.

El estudio de la línea de costa ha sido abordado en las últimas décadas por varios autores entre los que se destacan Cardona (2018), Castañeda (2017), Coca y Ricaurte (2019), Coca y Ricaurte-Villota (2022), Correa *et al.* (2007), Correa y Vernet (2004), Ferrucho-Maloof *et al.* (2022), González y Correa (2001), Paniagua (2013), Posada *et al.* (2009) y Zambrano y Andrade, (2011). El objetivo principal de algunos de estos estudios son los procesos erosivos por el alto impacto que tienen en los ecosistemas y asentamientos humanos, y se ha evaluado su efecto en ámbitos socioeconómicos y ambientales, como lo expuesto por Coca y Ricaurte (2019), donde se determina la vulnerabilidad de las poblaciones a la erosión costera.

En el área de interés se han llevado a cabo algunos estudios sobre los avances y retrocesos de la línea de costa, y la caracterización de geoformas de depósito y erosivas, tal es el caso de Posada *et al.* (2009), quien realiza una descripción del tipo de línea de costa, el tipo de roca asociada (cohesivas y no cohesivas), los factores involucrados en los procesos de sedimentación y erosión, así como una caracterización general del área y mapas a escala 1:100 000 de las unidades geomorfológicas, los rasgos geomorfológicos, las facies sedimentarias y la línea de costa. Alejandra *et al.* (2017) determinan la magnitud del cambio de la línea de costa al norte del distrito de Buenaventura con imágenes satelitales Landsat de 1986, 2001 y 2015, con una resolución espacial de 30 m, encontrando que en la Bocana y Punta Soldado las tasas de erosión/acreción estuvieron entre 5 y -5 m/año; Invemar-GEO (2015) en el informe técnico donde describen la evolución reciente de la zona costera de Valle del Cauca, analizan la línea de costa entre 1971 y 2015 en el sector de Punta Soldado, encontrando que entre 1971 y 2011 la línea de costa retrocedió 85 m, y entre 2011 y 2015 retrocedió 47 m. Sin embargo, no existen estudios que caractericen con mayor resolución espacial y temporal la evolución de la línea de costa en todos los sectores de estudio de esta publicación.

Actualmente, no existen estudios previos sobre los movimientos de la línea de costa en las áreas analizadas con una escala detallada de 1:5000, ni con una serie temporal tan amplia como la considerada en esta investigación (1969, 1982, 2006, 2016 y 2023). El objetivo de este artículo es cuantificar los desplazamientos netos de la línea de costa, así como las tasas de erosión y acreción en la parte externa de la bahía de Buenaventura. Para ello se emplea el software DSAS, desarrollado por el United States Geological Survey (USGS, por sus siglas en inglés), utilizando fotografías históricas del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC), ortofotografías e imágenes satelitales capturadas entre 1969 y 2023. El análisis se centra en los sectores de isla Soldado, isla Santa Bárbara, Bazán Bocana y Pianguita.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en la parte externa de la bahía de Buenaventura. Comprende los sectores de Pianguita, Bazán Bocana y las islas Soldado y Santa Bárbara, en el municipio de Buenaventura, departamento Valle del Cauca (Fig. 1). Geomorfológicamente, Punta Soldado y Santa Bárbara, son islas barrera, planicies intermareales vegetadas y playas, geoformas asociadas a la interacción de la dinámica marina y la de los ríos que desembocan allí, como el Raposo, Dagua y Anchicayá. Al norte, en Bazán Bocana y Pianguita hay playas, llanura costera y colinas.

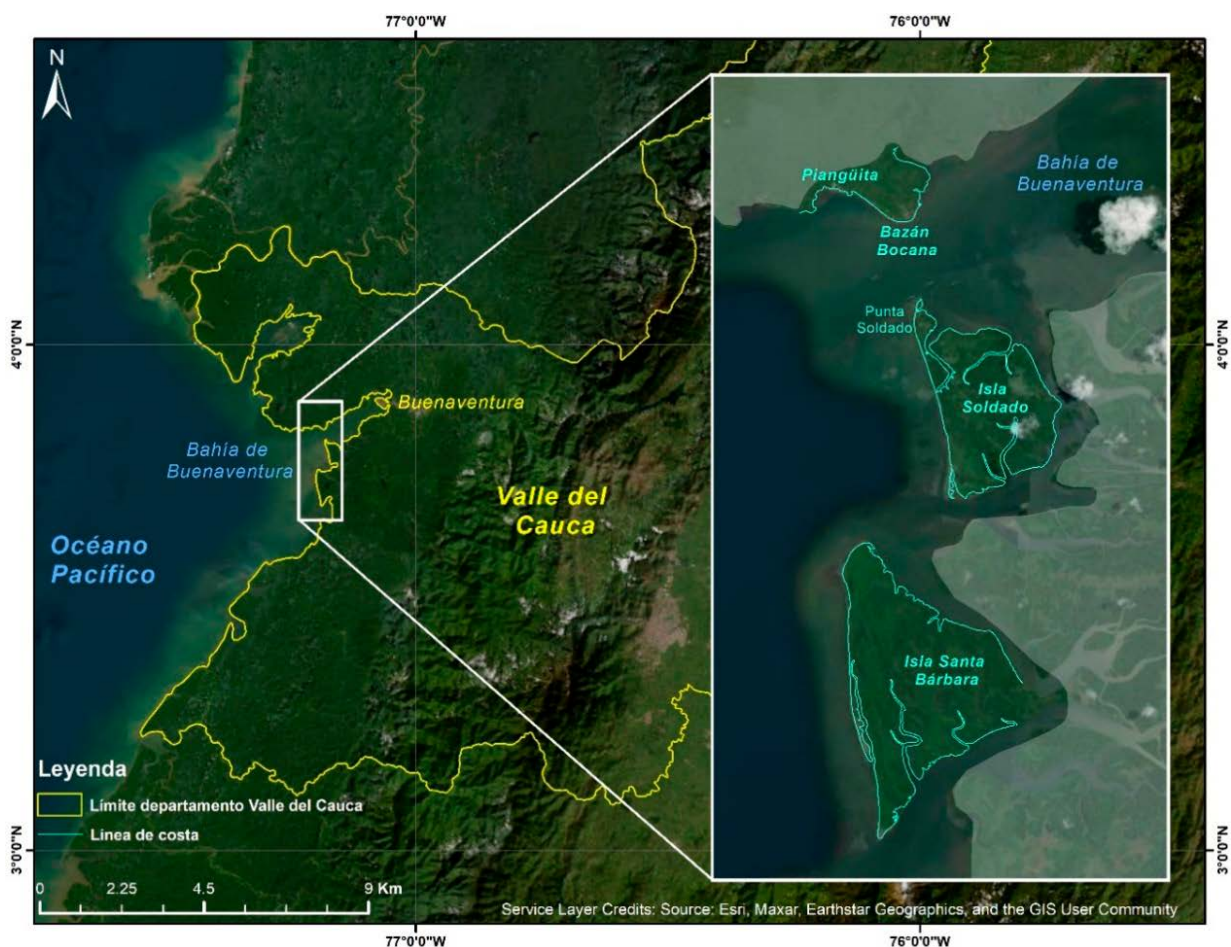


Figura 1. Localización área de estudio.

METODOLOGÍA

Datos

Para la extracción de las líneas de costa se utilizaron fotografías aéreas del IGAC, ortofotografías e imágenes satelitales de diferente temporalidad, las cuales se relacionan en la Tabla 1:

Tabla 1. Sensores remotos.

Sensor remoto	Resolución	Año	Observaciones
Fotografía del IGAC	0.9 metros/píxel	1969 y 1982	Base de datos de la Dimar
Ortofotografías	0.25 metros/píxel	2006	Base de datos de la Dimar
Imágenes satelitales	0.3 metros/píxel	2016	Constelación Maxar – Base de datos de la Dimar
Imágenes satelitales	5 metros/píxel	2023	Satélites Sentinel 2 descargadas de LandViewer

Criterios de definición de línea de costa y proceso de digitalización

La digitalización de las líneas de costa se realizó a escala 1:5000 de acuerdo con la fotointerpretación que se realizó con las imágenes satelitales de menor resolución (Sentinel 2 de 5 m), complementadas en algunos tramos con imágenes de mayor resolución sin reducción, para conservar detalles geomorfológicos relevantes. Los criterios de digitalización se definieron bajo una perspectiva geomorfológica y fisiográfica, los cuales se mencionan a continuación (Fig. 2):

- **Costas rocosas:** conectadas directamente con el mar, la línea de costa se define a partir de la base de los acantilados o el límite de afloramientos rocosos (Ojeda Zújar *et al.*, 2013) (Fig. 2a).
- **Zonas de manglar:** se desarrollan en zonas intermareales y uno de sus principales servicios ecosistémicos es proteger las costas de la erosión. En este caso la línea de costa es definida por el borde del manglar (Fig. 2b).
- **Playas:** definida por el contacto interno de la playa seca (*backshore*) y la vegetación permanente o duna costera, si se encuentra presente (Fig. 2c).
- **Infraestructuras en contacto directo con el mar:** definida por el límite externo de la infraestructura que está en contacto con el mar (Fig. 2d).

La digitalización de líneas de costa fue realizada por una sola persona experta en el tema, con el fin de disminuir al máximo la subjetividad inevitable en el proceso de fotointerpretación y siempre a una única escala (1:5000) para así garantizar la coherencia geométrica (Ojeda Zújar *et al.*, 2013).

Medición de cambios y cálculo de tasas de erosión

Para medir los cambios netos de la línea de costa y calcular las tasas de erosión se utilizó el software DSAS, el cual es compatible con ArcGIS. Para el uso de esta herramienta se debe crear una línea de costa para cada año entre las que se establecerán las mediciones, y una línea base digitalizada aproximadamente paralela a las líneas de costa, a una distancia prudente de donde partirán los diferentes transectos ortogonales que intersecan con las líneas de costa. La herramienta genera de forma semiautomática los transectos una vez el analista le ha asignado una separación (Fernández de la Torre, s.f.). Para este estudio la distancia entre transectos es de 50 m de acuerdo con la escala de trabajo. Los estadísticos calculados por el software DSAS durante este proceso fueron:

- **Net Shoreline Movement (NSM):** calcula el movimiento neto de la línea de costa, es decir, el movimiento entre la línea de costa más antigua y la más reciente.



Figura 2. Criterios para digitalización de las líneas de costa. **a.** Línea de costa definida por la base de los acantilados. **b.** Línea de costa definida por el borde de manglares en planos intermareales. **c.** Línea de costa definida por el límite interno de una playa. **d.** Línea de costa definida por el borde de las infraestructuras.

- **End Point Rate (EPR):** calcula la tasa de cambio de la línea de costa en metros por año, es decir, es el cociente entre NSM y el tiempo transcurrido.
- **Shoreline Change Envelope (SCE):** calcula la mayor distancia entre todas las líneas de costa, independientemente de las fechas (Himmelstoss *et al.*, 2021).

Para la clasificación del grado de erosión y acreción costera se utilizaron las categorías de evolución costera propuestas por Del Río *et al.* (2013), las cuales son presentadas en la Tabla 2:

Tabla 2. Clasificación del nivel de acreción y erosión. [Tomado de: Del Río *et al.* (2013)].

Rango EPR (m/año)	Clasificación de los procesos de cambios de la línea costera
< -15	Erosión muy alta
< -5 a -15	Erosión alta
< -2 a -5	Erosión moderada
-2 a <2	Estable
>2 a 5	Acreción moderada
> 5 a <15	Acreción alta
>15	Acreción muy alta

RESULTADOS

Bazán Bocana y Pianguita

Los resultados obtenidos con el software DSAS evidencian que en Bazán Bocana y Pianguita la línea de costa se ha mantenido estable debido a que el estadístico EPR se encuentra en el rango -2 a 2 m/año. En cuanto al estadístico NSM, ha tenido movimientos netos negativos (erosión) que llegan a los -86.2 m y movimientos netos positivos (acreción) de 871 m. El estadístico SCE

muestra que la mayor distancia recorrida de la línea de costa fue de 87.1 m (Fig. 3). En general, de los 4.07 km analizados de línea de costa en ese sector, el 35.44 % se ha erosionado y el 64.56 % se ha acrecionado; sin embargo, estos procesos han sido leves pues sus valores de EPR se encuentran en el rango que define a la línea de costa como estable (-2 a 2 m/año) (Tabla 2).

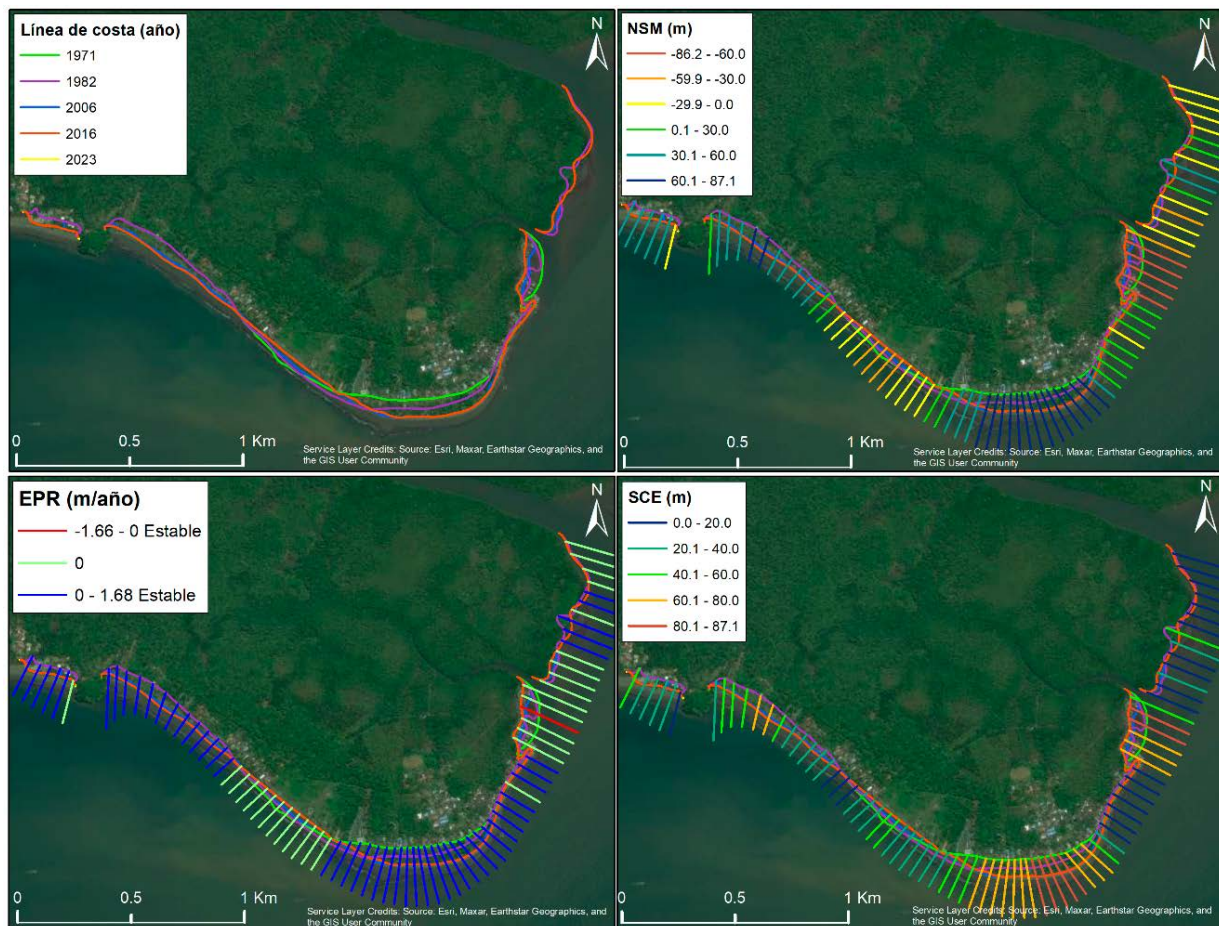


Figura 3. Evolución de la línea de costa sector Bazán Bocana y Pianguita. Resultados de los estadísticos NSM, EPR y SCE.

Isla Soldado

Los resultados obtenidos para isla Soldado evidencian que la línea de costa ha presentado erosión alta, con valores del estadístico EPR que alcanzan los -10.7 m/año, y acreción alta, con valores que alcanzan los 10.7 m/año. El estadístico NSM evidencia que la línea de costa ha tenido movimientos netos negativos (erosión)

que llegan a los -558.5 m y movimientos netos positivos (acreción) de 556.4 m. El estadístico SCE muestra que la mayor distancia recorrida de la línea de costa en ese sector fue de 620 m (Fig. 4). En general, de los 10.36 km analizados de línea de costa en ese sector, el 77.6 % se ha erosionado y el 22.4 % se ha acrecionado (Tabla 3).

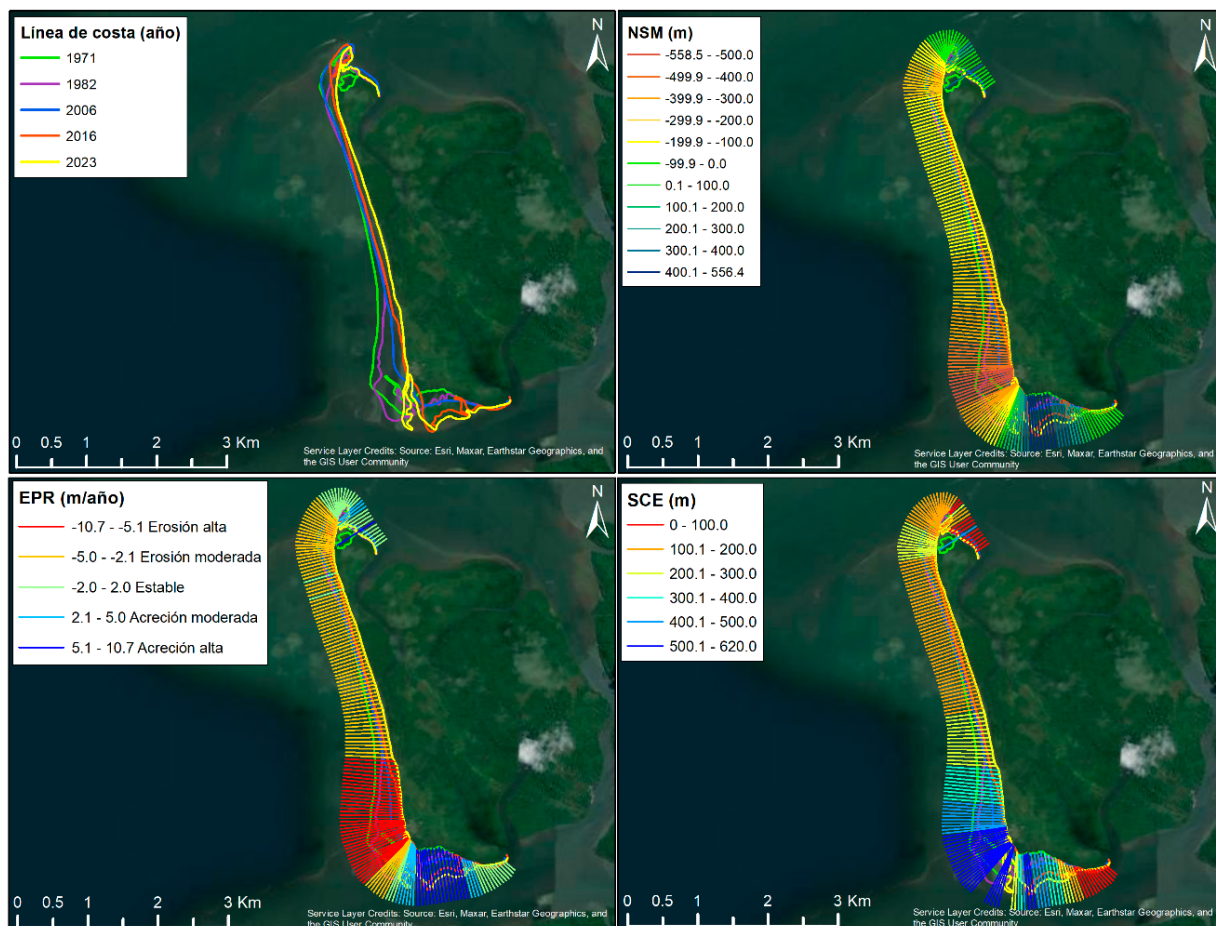


Figura 4. Evolución de la línea de costa sector isla Soldado. Resultados de los estadísticos NSM, EPR y SCE.

Isla Santa Bárbara

Los resultados obtenidos para isla Santa Bárbara evidencian que la línea de costa ha presentado erosión alta con valores del estadístico EPR que alcanzan los -8.9 m/año, y acreción alta, con valores que alcanzan igualmente los 5.9 m/año. El estadístico NSM evidencia que la línea de costa ha tenido movimientos netos negativos (erosión) que llegan a los -233.9 m y

movimientos netos positivos (acreción) de 306.8 m. El estadístico SCE muestra que la mayor distancia recorrida de la línea de costa en ese sector fue de 373.1 m (Fig. 5). En general, de los 12.6 km analizados de línea de costa en ese sector el 35.5 % se ha erosionado y el 64.5 % se ha acrecionado (Tabla 3).

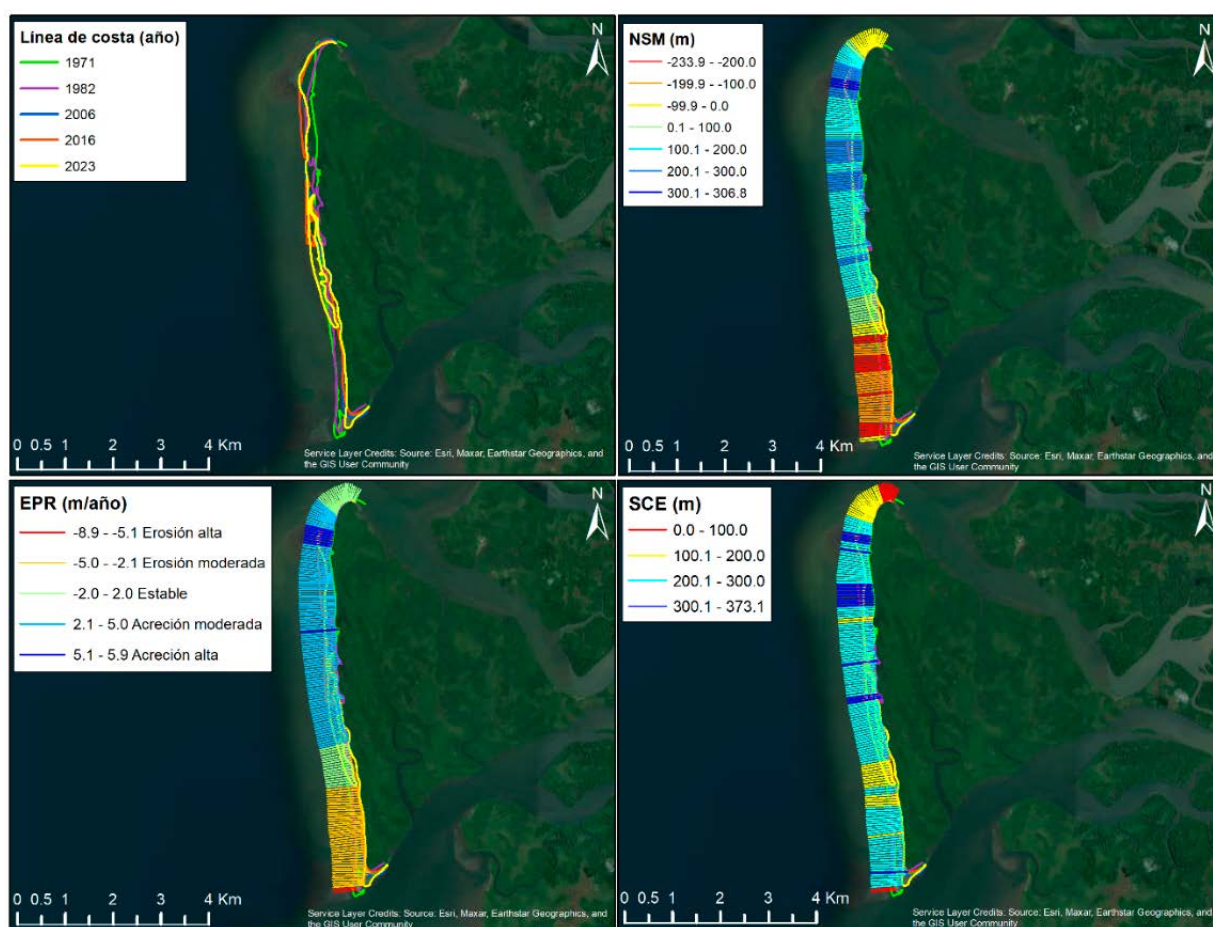


Figura 5. Evolución de la línea de costa sector isla Santa Bárbara. Resultados de los estadísticos NSM, EPR y SCE.

Tabla 3. Resultados de los estadísticos EPR, NSM y SCE para el área de estudio.

Estadístico	Bazán Bocana y Pianguita	Isla Soldado	Isla Santa Bárbara
% de línea de costa en erosión	35.44	77.6	35.45
% de línea de costa en acreción	64.56	22.4	64.55
NSM máximo (+) (m)	87.11	556.37	306.76
NSM promedio (+) (m)	43.67	216.4	168.08
NSM máximo (-) (m)	-86.18	-558.51	-233.93
NSM promedio (-) (m)	-30.45	-210.6	-138.06
EPR máximo (+) (m/año)	1.68	10.7	5.9
EPR promedio (+) (m/año)	0.84	4.16	3.23
EPR máximo (-) (m/año)	-1.66	-10.74	-8.92
EPR promedio (-) (m/año)	-0.59	-4.05	-2.83
SCE máxima (m)	87.11	620.47	373.14
SCE media (m)	41.21	263.22	226.96

DISCUSIÓN

La evolución de la línea de costa en la bahía de Buenaventura en los últimos años está condicionada por su geomorfología, la cual, a su vez, depende de las características litológicas de la zona y su interacción con procesos exógenos y endógenos que la modelan, por ejemplo, hidrometeorológicos y tectónicos. La geomorfología del norte externo de la bahía se caracteriza por lomas y colinas principalmente, con algunas playas en menor medida (Bazán Bocana y Pianguita). Las lomas y colinas formadas por una secuencia sedimentaria poco litificada de areniscas, conglomerados y lutitas de origen continental y marino (SGC y UNAL, 2015) rodean algunas playas del sector, proporcionándoles cierta protección de la hidrodinámica del sector, como se evidenció en las playas de Bazán Bocana y Pianguita, que han permanecido estables, pues las tasas de cambio en la línea de costa, ya sea por pérdida o ganancia del terreno, no han superado los ± 2 m.

Contrario a lo que ocurre allí, el sur de la bahía, las islas Soldado y Santa Bárbara están caracterizadas por ser una llanura baja expuesta directamente a la dinámica fluvio marina y a las actividades antrópicas. Estas características han hecho que sus cambios en la línea de costa sean más marcados que en otros sectores de la bahía.

En isla Soldado las tasas de erosión más altas (-10.74 m/año) se observan al sur, frente al caserío Soldado, y las tasas de acreción más altas (10.70 m/año) se evidenciaron en la punta sur de la isla, por lo que se infiere que el sedimento perdido en el sector donde más retrocedió la línea de costa se acomodó en la punta más hacia el sur de la isla, posiblemente influenciado por la dinámica del oleaje. Hacia el centro norte y norte de la isla las tasas de erosión y acreción son moderadas (± 2 a 5 m/año); sin embargo, se observa el mismo patrón de acomodación de los sedimentos: disminución del ancho de la isla barrera Soldado (por retroceso de la línea de costa) y aumento de su longitud por acomodación de los sedimentos en las puntas norte y sur. Este estudio cuantificó los cambios de la línea de costa promediándolos en un periodo de 52 años; sin embargo, los resultados en el estudio de Invemar-GEO (2015) y Eisinguer (2023), muestran que entre el 2011 y el 2021 las tasas de erosión en

la isla han alcanzado entre -19.25 y -22.10 m/año. En la última década, entre 2014 y 2016, se evidenciaron los retrocesos más significativos de la línea de costa. Según la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), el evento EL Niño en 2015-2016, catalogado como "muy fuerte", pudo estar asociado al retroceso de la línea de costa en esos años.

En la isla Santa Bárbara, hacia el sur, se ha presentado principalmente erosión moderada, con retrocesos de la línea de costa entre -2 y -5 m/año, y en menor medida erosión alta, con valores que alcanzan los -8.9 m/año. Hacia el centro y norte de la isla ha predominado la acreción moderada, con avances de la línea de costa entre 2 y 5 m/año, y en menor medida ha permanecido estable (± 2 m/año) y con acreción alta (entre 5 y 5.9 m/año). A diferencia de isla Soldado, esta isla presenta menos cambios en la línea de costa y su longitud ha permanecido relativamente estable.

CONCLUSIONES

En la zona externa de la bahía de Buenaventura, la zona norte, Bazán Bocana y Pianguita, son los sectores donde menos ha retrocedido o avanzado la línea de costa en los últimos 54 años, mientras que en isla Soldado estos cambios han sido muy significativos en cuanto a la pérdida y ganancia del terreno.

En Bazán Bocana y Pianguita, durante el periodo en estudio, el 35.44 % de la línea de costa retrocedió (erosión) y el 64.56 % avanzó (acreción). Sin embargo, de acuerdo con los resultados en cuanto a tasas de erosión y acreción se encuentran en un rango entre 1.68 a -1.66 m/año, por lo que la línea de costa en este sector se clasificó como estable. Al ser los valores de tasas de erosión/acreción máximos tan similares, al igual que su promedio (4.16 y -4.05 m/año), se puede concluir que a lo largo de la línea de costa el sedimento se ha estado acomodando en ese sector.

En la isla Soldado el 77.6 % de la línea de costa retrocedió debido a procesos de erosión y el 22.4 % avanzó por procesos de acreción. Las tasas de erosión/acreción se encuentran en el rango 10.70 a -10.74 m/año, por lo cual la línea de costa se clasificó con erosión y acreción alta. De igual forma, sus tasas de erosión/acreción

máxima fueron muy similares al igual que los promedios (4.16 y -4.05 m/año), por lo que se puede inferir que el sedimento se acomodó a lo largo de su línea de costa.

En la isla Santa Bárbara el 35.45 % de la línea de costa retrocedió y el 64.55 % avanzó. El rango de tasas de erosión/acreción fue de 5.9 a -8.92 m/año, por lo cual la línea de costa se clasificó con erosión y acreción altas. La tasa de erosión máxima es superior a la tasa de acreción máxima; sin embargo, los promedios de esas tasas fueron muy similares, 3.23 y -2.87 m/año, y el porcentaje de línea de costa que avanzó fue muy superior al que retrocedió, por lo que se puede concluir que hubo una leve ganancia en la acumulación de sedimentos en la playa de esta isla.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Resumen: K.A.E.V; Introducción: K.A.E.V; Área de estudio: K.A.E.V; Metodología: K.A.E.V - D.C.N.P; Resultados: D.C.N.P; Discusión: D.C.N.P; Conclusiones: D.C.N.P.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cifuentes, M., Rosero, L. y Josephraj, J. (2017). Detección de cambios de la línea costera al norte del distrito de Buenaventura mediante el uso de sensores remotos. *Boletín Investigaciones Marino-Costas*, 46(1), 137–152. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2017.46.1.719>
- Cardona, D. (2018). *Actualización de la migración de la línea de costa de acantilados blandos tropicales entre Minuto de Dios y Puerto Rey, sur de la costa Caribe colombiana*. Universidad EAFIT.
- Castañeda, D. J. (2017). *Análisis de línea de costa en el municipio de Buenaventura (Valle del Cauca, Colombia)*. Universidad distrital Francisco José de Caldas.
- Coca, O. y Ricaurte, C. (2019). Análisis de la evolución litoral y respuesta de las comunidades afrodescendientes asentadas en la zona costera: caso de estudio La Barra, Buenaventura, Pacífico Colombiano. *Entorno Geográfico*, 17, 7–26. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i17.7918>
- Coca, O. y Ricaurte-Villota, C. (2022). Regional Patterns of Coastal Erosion and Sedimentation Derived from Spatial Autocorrelation Analysis: Pacific and Colombian Caribbean. *Coasts*, 2, 125–151. <https://doi.org/10.3390/coasts2030008>
- Correa, I. y Vernet, G. (2004). Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Arboletes-Turbo) costa Caribe colombiana. *Boletín Investigaciones Marino-Costas*, 33, 7–28. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2004.33.0.245>
- Correa, I., Ríos, A., González, D., Toro, M., Ojeda, G. y Restrepo, I. (2007). Erosión litoral entre Arboletes y Punta San Bernardo, costa Caribe colombiana. *Boletín de Geología*, 29, 115–129.
- Del Río, L., García, J. y Benavente, J. (2013). Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain. *Geomorphology*, 196, 252–266. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.07.027>
- Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas de Hidrográficas del Pacífico. (2013). *Zonificación Fisiográfica del Litoral Pacífico Colombiano. Fase I*. Dimar-CCCP.
- Duncan, F., Michael, F., Birtt, A. y Ilya, B. (2008). Coastal Impacts Due to Sea-Level Rise. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 601–647. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.35.031306.140139>
- Eisinger, K. (2023). *Análisis del cambio morfológico en la línea de costa de la bahía de Buenaventura (Pacífico colombiano) a través de sensores remotos de 2016 a 2021*.
- Fernández de la Torre, J. (s.f.). *Análisis y propuesta metodológica para el cálculo de tasas de erosión y otros indicadores costeros en un sector de la costa andaluza*.
- Ferrucho-Maloof, I. E., Otero-Díaz, L. J. y Cueto-Fonseca, J. E. (2022). Cambios recientes de la línea de costa entre Bocas de Ceniza y Puerto Velero (Atlántico, Colombia). *Boletín de Geología*, 44(3), 159–178. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n3-2022007>

- González, J. L. y Correa, I. D. (2001). Late Holocene Evidence of Coseismic Subsidence on the San Juan Delta, Pacific Coast of Colombia. *Journal of Coastal Research*, 17, 459–467.
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., y Farris, A. S. (2021). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.1 User Guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2021–1091. In *U.S. Geological Survey*. <https://doi.org/10.3133/ofr20211091>
- Invemar-GEO. (2015). *Evolución reciente de la zona costera del departamento del Valle del Cauca*. Programa Geociencias Marinas y Costeras. Santa Marta.
- MinAmbiente. (2017). *Guía Técnica sobre Ordenación y Manejo Integrado de la Zona Costera*.
- Ojeda Zújar, J., Díaz Cuevas, M. del P., Prieto Campos, A. y Álvarez Francoso, J. I. (2013). Línea de Costa y Sistemas de Información Geográfica: Modelo de Datos Para la Caracterización y Cálculo de Indicadores en la Costa Andaluza. *Investigaciones Geográficas*, 60, 37–52. <https://doi.org/10.14198/INGEO2013.60.02>
- Paniagua, J. (2013). *Migración histórica actualizada y predicción de la posición de la línea de costa en sectores acantilados críticos del litoral antioqueño considerando escenarios de ascenso del nivel del mar*. Universidad Eafit.
- Posada, B. O., Henao, W. y Guzmán, G. (2009). *Diagnóstico de la erosión y sedimentación en la zona costera del Pacífico colombiano*. (Invemar, S, Vol. 1999, Issue December).
- Servicio Geológico Colombiano y Universidad Nacional. (2015). Memoria explicativa. Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa ESC 1:100.000. Plancha 278 - Bahía de Buenaventura. En: *Convenio especial de cooperación N°. 028 de 2013*. SGC y UNAL. <https://doi.org/10.32685/4.7.2015.348>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2017). *Erosión costera en Colombia*. UNGRD.
- Vernette, G., Correa, I. y Bernal, G. (2012). *Introducción a los cambios del nivel de mar y sus consecuencias sobre la zona costera (Vol. 1)*. (Centro editorial de la Facultad de Minas. (ed.)).
- Zambrano, J. A. y Andrade, C. A. (2011). Cambios en la línea de costa del Cayo Serranilla entre 1944 y 2009, Archipiélago de San Andrés, Colombia. *Boletín Científico CIOH*, 29, 87–103. <https://doi.org/10.26640/22159045.231>

Boletín Científico CIOH

CARIBE Y PACÍFICO

Cartagena de Indias, D.T. y C., Colombia

Vol. 44 N.º 1. Junio 2025

CIOH: 50 años de ciencia y servicio al mar

Alexis Grattz Bonilla

3 - 4

Aproximación a los patrones de navegabilidad, accidentalidad y hundimiento en islas Cayos del Este Sudeste: aportes para el inventario del patrimonio cultural sumergido del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Colombia)

Carlos del Cairo Hurtado, Jesús Alberto Aldana Mendoza, Maritza Moreno Calderón, Laura Victoria Báez Santos, Johann Cuta Jiménez, Gina Lorena Hernández Zárate, Carla Riera Andreu, Alexandra Chadid Santamaría, Linda Lucía Ballestas Torres

5 - 18

Detección de microorganismos patógenos en agua de lastre de buques de tráfico internacional que arribaron en puertos marítimos de la costa Atlántica colombiana durante los años 2020 a 2023

Ninibeth Nicol Cortés Leal, Karen López Suárez

19 - 28

Evaluación de la erosión y acreción costera en la bahía externa de Buenaventura entre 1969 y 2023

Diana Carolina Niño Pinzón, Kevin Andrés Eisinguer Valderrama

29 - 39

Ministerio de Defensa Nacional Dirección General Marítima
Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe-CIOH
El Bosque, Isla Manzanillo, Escuela Naval "Almirante Padilla"
Cartagena de Indias, D.T. y C.
Teléfono: (605) 669 44 65

Ministerio de Defensa Nacional



Dirección General Marítima
Autoridad Marítima Colombiana

**Centro de Investigaciones Oceanográficas
e Hidrográficas del Caribe**

**Centro de Investigaciones Oceanográficas
e Hidrográficas del Pacífico**

www.dimar.mil.co

<http://ojs.dimar.mil.co/index.php/CIOH/index>