



# Informe del estado de los **ambientes** y **recursos marinos** y costeros de Colombia **2023**

*Serie de publicaciones periódicas*  
**Número 3** | ISSN 1692 - 5025  
Santa Marta | Colombia



Director General  
**Francisco A. Arias Isaza**

Subdirector Coordinación Científica (SCI)  
**Jesús Antonio Garay Tinoco**

Subdirectora Administrativa (SRA)  
**Sandra Rincón Cabal**

Coordinadora  
Coordinación de Investigación e Información  
para la Gestión Marina y Costera (GEZ)  
**Paula Cristina Sierra Correa**

Coordinador  
Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)  
**David Alonso Carvajal**

Coordinadora  
Programa de Geociencias Marinas y Costeras (GEO)  
**Constanza Ricaurte Villota**

Coordinadora  
Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)  
**Luisa Fernanda Espinosa Díaz**

Coordinador  
Programa Valoración y Aprovechamiento  
de Recursos Marinos (VAR)  
**Mario E. Rueda Hernández**

Coordinador  
Coordinación de Servicios Científicos (CSC)  
**Juan Carlos Márquez Hoyos**

Calle 25 # 2 - 55, Playa Salguero

Santa Marta D.T.C.H. • 2023

PBX (575) 432 8600 • Fax (575) 4328694

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

ISSN: 1692-5025

#### Citar la obra completa:

INVEMAR. 2024. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2023. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 202 p.

#### Citar capítulos:

Autores. 2024. Título capítulo. (Intervalo de páginas ej: Pp. 10-20). En: INVEMAR. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2023. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. -202p.

**Palabras clave:** Ambientes marinos, Recursos marinos, Ecosistemas, Aguas marinas, Zona costera, Colombia.

**DOI:** <https://n2t.net/ark:/81239/m9t41j>

#### Coordinación General

Jesús Antonio Garay Tinoco

Subdirector Coordinación Científica - SCI

#### AUTORES

##### Capítulo 1

Milena Hernández-Ortiz, Carolina García-Valencia, Diana Carolina Romero D'Achiardi, Anny Paola Zamora Bornachera.

##### Capítulo 2

Constanza Ricaurte-Villota, David Fernando Morales Giraldo, Johan Camilo Casadiego Estévez, Marco Elías González Arteaga, Andrés Felipe Rosado Tapia, Jorge Andrés Díaz Rentería, Wilmar Mosquera, Wilberto Pacheco, Sebastián Contreras, Magnolia Murcia R. Luisa Fernanda Espinosa Díaz, Lizbeth Janet Vivas Aguas, Paola Sofía Obando Madera, Juan Felipe Lazarus, Cristian Camilo Ruiz, Carlos Andrés Pacheco Vélez, Juan Camilo Rodríguez, Edgar Arteaga Sogamoso, Julián Franco Angulo, Juan Fernando Saldarriaga Vélez, Laura Sánchez Valencia, Sebastián Herrera Fajardo, Diana Isabel Gómez López, David A. Alonso, Tania Hoyos Ruiz, Milena Hernández Ortiz.

##### Capítulo 3

Fabián Escobar Toledo, Daniel Guerrero-Bedoya, Danetcy Marmol, José Alexander Romero, Cristian Tellez Garcés, Mario Rueda.

##### Capítulo 4

Milena Hernández Ortiz, Tania Hoyos Ruiz, Anny Paola Zamora Bornachera.

##### Capítulo 5

Luisa Fernanda Espinosa, Edgar Arteaga Sogamoso, Julián Franco Angulo, Janet Vivas-Aguas, Carlos Andrés Pacheco Vélez, Paola Sofía Obando Madera, Juan Fernando Saldarriaga Vélez, Daniel Guerrero-Bedoya, Javier Gómez-León, Laura Sánchez Valencia, Sebastián Herrera Fajardo, Diana Isabel Gómez López, David A. Alonso, Mario Rueda, Tania Hoyos Ruiz, Milena Hernández Ortiz, Anny Zamora.

#### Compilación y edición

Tatiana Gómez Orgulloso

#### Cartografía

Omar Alexander Lugo- LABSIS

#### Diseño

INVEMAR

#### Foto portada

Cardumen de barracudas (*Sphyræna qenie*), Ciénaga Grande de Santa Marta, Muestras de Sedimentos para Microplásticos. Archivo INVEMAR.

Las líneas de delimitación fronteriza presentados en este documento, son una representación gráfica aproximada con fines ilustrativos solamente.

Derechos reservados conforme a la ley, los textos pueden ser reproducidos total o parcialmente citando la fuente.

Dando cumplimiento a lo establecido en la Ley 603 de 2000, el Director General del INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS JOSÉ BENITO VIVES DE ANDREIS - INVEMAR informa que esta entidad ha dado estricto cumplimiento a las normas sobre **propiedad intelectual y derechos de autor**. De igual forma, de acuerdo a lo establecido en el Parágrafo 2 del Artículo 87 de la Ley 1676 de 2013, se informa que el INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS JOSÉ BENITO VIVES DE ANDREIS - INVEMAR no entorpeció la libre circulación de las facturas emitidas por los vendedores o proveedores.

En cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 47 de la Ley 222, modificado por el artículo 1º de la Ley 603 de 2000, manifiesto que INVEMAR da cumplimiento a las normas de derechos de auditor y de uso de software legal.

# PRESENTACIÓN

El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” – INVEMAR en cumplimiento de sus misión y funciones, presenta la versión 2023 del Informe del Estado de los Recursos Marinos y Costeros de Colombia en el que reporta información científica marina y costera actualizada, en concordancia con las políticas del país, articulando su gestión con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Minambiente, Parques Nacionales Naturales – PNN, Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible – CAR con incidencia en las zonas marino-costeras, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA y demás instituciones del SINA, así como algunas universidades y centros de investigación. Desde 1998 se genera anualmente este reporte, inicialmente a partir de datos recogidos en las diversas investigaciones del instituto y la información aportada por diferentes instituciones.

A partir del año 2011, el contenido y estructura del informe se modifica con el fin de ofrecer a los lectores una información contextualizada y de fácil comprensión, basada en indicadores de Estado, Presión y Respuesta reportados casi exclusivamente por el INVEMAR, pretendiendo describir aquellos asuntos ambientales estratégicos que explican la situación actual y ciertas tendencias de cambio de los ecosistemas marinos y costeros y sus servicios ecosistémicos, relacionándolos con las causas y tensores que inciden de manera directa e indirecta sobre estos. Con el tiempo, se conformó una batería de índices e indicadores muchos de los cuales han alcanzado robustez y series históricas importantes e interesantes.

Este informe reporta el balance anual sobre el estado de la naturaleza y el medio ambiente marino y costero, esta edición 2023, mantiene el reporte basado en indicadores incorporados gracias a la actualización, ajuste y estrategias de análisis de información del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros de los últimos años.

El informe está compuesto por 5 capítulos, donde el primero incluye la descripción de los espacios oceánicos y zonas costeras e insulares de Colombia, las unidades de gestión ambiental, establecidas por la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia. El capítulo II presenta avances en el estado del ambiente y de los ecosistemas marinos y costeros mediante el conocimiento del medio abiótico, a partir de estudios de condiciones oceanográficas, climáticas y dinámica litoral en tres sitios, caracterización general y geomorfológica de la plataforma continental del Caribe, del Pacífico colombiano y territorios insulares, así como la calidad de las aguas marinas y costeras que incluye un análisis en playas turísticas, y también los indicadores de “salud” para arrecifes coralinos, pastos marinos y manglares. En el capítulo III, se describen las causas y tensores del cambio en los ecosistemas marinos y costeros, así como sus servicios de provisión de alimento y aprovechamiento del recurso pesquero, incluyendo la operación estadística de presión pesquera artesanal. El capítulo IV contiene el tema de instrumentos de gestión de los espacios oceánicos y zonas costeras e insulares de Colombia, en el cual se describen los avances en el manejo integrado de la zona costera desde ejercicios de planificación espacial marina desarrollados a escala regional, el avance en el fortalecimiento de capacidades en manejo integrado de zonas costeras y el estado de la gestión de las áreas marinas protegidas, hasta estrategias de capacitaciones en el manejo integrado de zonas costeras mediante diversos cursos, además se presenta el indicador de fortalecimiento de capacidades en manejo integrado. El capítulo V describe y analiza el estado del conocimiento y los vacíos de información que se tienen sobre los ecosistemas marinos y costeros de Colombia, en esta ocasión se presentan

las microalgas potencialmente nocivas las cuales causan impactos negativos en los organismos marinos. Adicionalmente, se presenta la contaminación causada por basura marina costera plástica y el indicador de especies bioprospectadas, los servicios ecosistémicos con su respectiva clasificación. Por último, el capítulo V presenta el potencial de Carbono Azul en Colombia y su importante papel en la mitigación del cambio climático, además de una línea de tiempo de las investigaciones en Carbono Azul para manglares y pastos marinos; y los avances en las estimaciones de carbono azul en la zona costera colombiana. De esta manera, el INVEMAR sigue contribuyendo activamente a la generación y difusión de conocimiento con el objetivo de apoyar la formulación de políticas y la toma de decisiones que promuevan el bienestar y la calidad de vida de los ciudadanos colombianos.

**Jesús A. Garay Tinoco**

Subdirector de Coordinación Científica

# Contenido

PRESENTACIÓN.....	3
BATERÍA DE INDICADORES .....	7
LISTA DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS .....	16
<b>LOS ESPACIOS OCEÁNICOS Y ZONAS COSTERAS E INSULARES DE COLOMBIA.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>18</b>
MARCO GEOGRÁFICO .....	19
UNIDADES DE GESTIÓN .....	24
Región Caribe insular .....	25
Región Caribe y Pacífico continental y oceánica.....	25
<b>ESTADO DEL AMBIENTE Y LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS: INDICADORES DE ESTADO.....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>29</b>
INTRODUCCIÓN.....	30
EL AMBIENTE ABIÓTICO .....	30
Clima Marítimo en la zona costera del Departamento del Magdalena.....	33
Cambios en la evapotranspiración en la cuenca del Río Fundación (Magdalena) asociados a la evolución de la cobertura del suelo.....	34
Estado superficial y subterráneo en las cuencas de los ríos Aracataca y Fundación del recurso hídrico.....	36
Estado de los sectores críticos por erosión costera en el departamento del Magdalena .....	38
La erosión costera en el departamento de Córdoba (Caribe).....	44
Sectores críticos por erosión costera del Valle del Cauca.....	46
Monitoreo de la erosión costera y las Medidas de Adaptación basada en Ecosistemas (MAbE) para mitigación de la erosión costera .....	49
ESTADO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO MARINO Y COSTERO EN EL CARIBE Y PACÍFICO COLOMBIANOS.....	53
Índice de calidad de aguas marinas y costeras – ICAM.....	53
Calidad microbiológica del agua de baño en las playas turísticas .....	60
ECOSISTEMAS Y HÁBITATS .....	68
Arrecifes coralinos.....	68
Pastos marinos .....	77
Manglares.....	84
Mapa oficial de Manglares.....	98
Avances en la generación de cartografía de manglares a escala nacional. ....	98

<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>100</b>
<b>CAUSAS Y TENSORES DEL CAMBIO EN LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS Y SUS SERVICIOS: INDICADORES DE PRESIÓN.....</b>	<b>100</b>
INTRODUCCIÓN.....	101
TENSOR DIRECTO .....	101
Aprovechamiento de recursos pesqueros .....	101
<b>INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DE LOS ESPACIOS OCEÁNICOS Y ZONAS COSTERAS E INSULARES DE COLOMBIA: INDICADORES DE RESPUESTA.....</b>	<b>131</b>
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>131</b>
INTRODUCCIÓN.....	132
MANEJO INTEGRADO DE ZONAS COSTERAS Y PLANIFICACIÓN ESPACIAL MARINA.....	135
Estrategia de capacitaciones.....	138
SUBSISTEMA DE ÁREAS COSTERAS Y MARINAS PROTEGIDAS .....	141
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>147</b>
<b>ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y VACÍOS DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>147</b>
ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y VACÍOS DE INFORMACIÓN SOBRE LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS.....	148
Microalgas potencialmente nocivas.....	148
Contaminación por basura marina plástica .....	154
Potencial de Carbono Azul en Colombia .....	167
ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y VACÍOS DE INFORMACIÓN SOBRE CAUSAS Y TENSORES DEL CAMBIO DE LOS ECOSISTEMAS.....	172
Causas y tensores directos de Ecosistemas .....	172
Causas y tensores indirectos .....	181
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>184</b>

# BATERÍA DE INDICADORES

1. Indicador de áreas perdidas y ganadas por cambios en la línea de costa.....	42
2. Índice de erosión costera de Colombia - IECC.....	51
3. Índice de calidad aguas marinas y costeras – ICAM.....	53
4. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM .....	69
5. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM .....	78
6. Indicador de condición-tendencia de bosques de manglar – ICTBM.....	88
7. Indicador de Integridad biológica de Manglares – IBIm para la Ciénaga Grande de Santa Marta	93
8. Indicador de captura total y captura por especie (nacional) .....	102
9. Indicador de captura total anual y composición por especies para la pesca artesanal de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM .....	104
10. Indicador de abundancia relativa de la pesca artesanal en la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta - GCSM.....	106
11. Indicador de talla media de captura para la pesca artesanal en la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM.....	108
12. Indicador de proporción de pesca incidental y descartes para la pesca artesanal en la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM .....	110
13. Indicador de fracción desovante/juvenil de las capturas para la pesca artesanal en la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM. ....	111
14. Indicador de renta económica de la pesca artesanal en la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM.....	113
15. Indicador de la presión pesquera artesanal sobre el tamaño de las principales especies de peces de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM .....	114
16. Indicador de captura total y captura por especie: pesca nacional industrial de camarón .....	115
17. Indicador de abundancia relativa del camarón: pesca industrial nacional.....	118
18. Indicador de talla media de captura (TMC): pesca industrial nacional de camarón.....	120
19. Indicador de proporción de pesca incidental y descartes: pesca industrial nacional de camarón .....	123
20. Indicador de fracción desovante/juvenil de las capturas: pesca industrial nacional de camarón .....	125
21. Indicador de rentabilidad económica: pesca industrial nacional de camarón .....	127
22. Índice de precios de comercialización primaria de la pesca artesanal .....	128
23. Indicador de número de personas capacitadas: fortalecimiento de capacidades en manejo integrado costero.....	138
24. Indicador de proporción de áreas marinas protegidas con plan de manejo vs total de áreas marinas protegidas.....	145
25. Indicador de especies bioprospectadas (ensayadas).....	164

26. Indicador de organismos marinos con estructura química determinada/ elucidada..... 166

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fronteras nacionales e internacionales de la zona marino – costera del territorio colombiano (modificado de IGAC, 2002). .....	22
Figura 2. Localización de las Unidades Ambientales Oceánicas y Costeras (modificado de INVEMAR, 2000). .....	25
Figura 3. A) mapa de zonificación de regiones Niño en el Océano Pacífico tropical (tomado de CIIFEN). B) variación de la ATSM durante 2023 para las regiones Niño 3.4, Niño 3 y Niño 1+2 en el Pacífico Tropical Oriental. Fuente de datos: ERSST v5, NOAA. ....	31
Figura 4. Distribución longitud-tiempo (Hovmöller) de las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) para Zona Norte (6° N), Centro (4° N) y Sur (2° N) de la CPC durante el año 2023. Fuente de datos: CMEMS. ....	32
Figura 5. Comportamiento de la presión atmosférica, viento y oleaje, para los eventos de mar de leva de noviembre y diciembre de 2023. Fuente: Datos tomados del portal Copernicus reanálisis ERA-5 y procesados por INVEMAR 2024. Se escogieron los días 1 .....	33
Figura 6. Comportamiento del viento (velocidad-azul y dirección-naranja), oleaje (velocidad-azul y dirección-Naranja) y nivel del mar, para el mes de noviembre y diciembre de 2023. Las líneas punteadas en negro indican el periodo de mar de leva de may .....	34
Figura 7. Diagrama de cajas de la evapotranspiración entre las coberturas vegetales para el 2022 (mediana azul) y 2023 (mediana naranja). El promedio de los datos está representado por líneas discontinuas. ....	35
Figura 8. Promedio de evapotranspiración mensual de todas las coberturas vegetales para el 2022 y 2023. ....	36
Figura 9. Marco causal para evaluar el origen de las presiones sobre el recurso hídrico en las cuencas de los ríos Aracataca y Fundación. Construido bajo los lineamientos del modelo “Drivers, Pressures, State, Impact and Response conocido por sus siglas. ....	37
Figura 10. Mapa de estaciones de monitoreo de erosión costera en el departamento del Magdalena. ....	38
Figura 11. Perfil topográfico de la zona costera en la estación de Boca de la Barra identificando la playa trasera (1) y frente de playa (2). El polígono azul corresponde a la zona sumergida del perfil. ....	39
Figura 12. Perfil topográfico de la zona costera en la estación de Costa Verde identificando la playa trasera (1) y frente de playa (2). El polígono azul corresponde a la zona sumergida del perfil. ....	40
Figura 13. Perfil topográfico de la zona costera en la estación de Ciénaga identificando la playa trasera (1) y frente de playa (2). El polígono azul corresponde a la zona sumergida del perfil. ....	40
Figura 14. Perfil topográfico de la zona costera en la estación de Los Cocos identificando la playa trasera (1) y frente de playa (2). El polígono azul corresponde a la zona sumergida del perfil. ....	41
Figura 15. Perfiles topográficos en la zona costera en la estación de Salguero, identificando la playa trasera (1) y frente de playa (2). Perfiles del punto de control histórico (a) y en el punto de control desplazado (b). El polígono azul corresponde zona azul sumergida. ....	41
Figura 16. Tendencia general de la línea de costa entre junio 2017 y diciembre 2023 en Playa Salguero. ....	43

Figura 17. Estimación de la variación del volumen de playa entre 2020 y 2023, en Playa Salguero. ....	44
Figura 18. Mapa de procesos de erosión (colores rojos) y acreción (colores azules) identificados en cercanías a la desembocadura del río Sinú entre 1985 y 2022, usando DSAS.....	45
Figura 19. Distribución mensual del movimiento de línea de costa durante 2023 en las localidades con monitoreo de erosión costera en el Pacífico colombiano. La línea roja punteada indica el límite entre los desplazamientos positivos y negativos de la línea de costa .....	46
Figura 20. Patrones espacio-temporales de acumulación y erosión de acuerdo a la estimación de la tasa de punto final durante 2023 en Punta Soldado. ....	48
Figura 21. Patrones espacio-temporales de acumulación y erosión de acuerdo a la estimación de la tasa de punto final durante 2023 en La Bocana y Pianguíta.....	49
Figura 22. Localidades de monitoreo a la erosión costera y a la influencia de las alternativas AbE en su mitigación en el Caribe colombiano. ....	50
Figura 23. Cambios históricos del ICAM A) Porcentaje (%) de estaciones de monitoreo de aguas marinas y costeras evaluadas con el índice ICAM entre 2018 y 2022. B) Tendencia en la proporción de las categorías de calidad en el periodo 2018 a 2022. ....	55
Figura 24. A) Valor del ICAM (promedio $\pm$ desviación estándar) obtenidos en los departamentos de las regiones del Caribe y Pacífico de Colombia en el año 2022. B) Proporción de calidad del agua marina y costera en las regiones caribe y Pacífico de acuer.....	56
Figura 25. Representación del índice de calidad de aguas marinas y costeras – ICAM evaluado en los departamentos costeros de los litorales Caribe y Pacífico colombianos en el año 2022. Elaborado por Omar Lugo Dueñas Labsis-INVEMAR. ....	57
Figura 26. Gráfico de caja y bigotes de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE; NMP/100 mL) medido en las playas evaluadas por departamento en las regiones del Caribe y Pacífico, en el año 2023. ....	61
Figura 27. Tendencia del número de playas turísticas evaluadas entre 2001 y 2023 en Colombia y su porcentaje de cumplimiento, de acuerdo con el criterio de calidad para coliformes termotolerantes para uso recreativo de contacto primario (200 NMP/100 mL, .....	62
Figura 28. Número de muestreos realizados en el año 2023 en las playas turísticas de los departamentos del Caribe y Pacífico colombianos y estado de cumplimiento (cumple / no cumple) del criterio de calidad de coliformes termotolerantes para aguas de baño de uso recreativo de contacto primario (200 NMP/100 mL, Minambiente, 2015). ....	63
Figura 29. Representación del criterio de calidad de Coliformes Termotolerantes – CTE evaluado en los departamentos costeros de los litorales Caribe y Pacífico colombianos en el año 2023. El número en la gráfica indica el porcentaje de cumplimiento de Coliformes Termotolerantes – CTE. Elaborado por Omar Lugo Dueñas Labsis-INVEMAR.....	64
Figura 30. Tendencia del número de playas turísticas evaluadas en el período 2001 y 2023 en Colombia y su porcentaje de cumplimiento de acuerdo al valor de referencia para enterococos fecales para aguas de baño de uso recreativo bandera azul (<100 UFC/ .....	65
Figura 31. Gráfico de caja y bigotes de las concentraciones de Enterococos fecales (EFE) (UFC/100 mL EFE) medido en las playas evaluadas por departamento en las regiones del Caribe y Pacífico, en el año 2023.....	65

- Figura 32. Número de muestreos realizados en el 2023 en las playas turísticas de los departamentos del Caribe y Pacífico colombiano y estado de cumplimiento (cumple / no cumple), de acuerdo al valor de referencia para enterococos fecales para aguas de baño de uso recreativo bandera azul (<100 UFC/100 mL EFE; Unión Europea, 2006)..... 66
- Figura 33. Representación del valor de referencia de Enterococos Fecales – EFE para bandera azul evaluado en los departamentos costeros de los litorales Caribe y Pacífico colombianos en el año 2023. El número en la gráfica indica el porcentaje de cumplimiento de Enterococos Fecales – EFE. Elaborado por Omar Lugo Dueñas Labsis-INVEMAR..... 67
- Figura 34. Localidades de monitoreo coralino y representación de la proporción de su condición en las estaciones correspondientes en el año 2023 según el índice de condición tendencia ICTAC para el Caribe colombiano: A. PNN Old Providence McBean Lagoon, B. PNN Tayrona, C. Varadero y D y E. PNN Corales del Rosario e islas de San Bernardo. Elaborado por LABSIS-INVEMAR en 2023..... 72
- Figura 35. Localidades de monitoreo coralino y representación de la proporción de su condición en las estaciones correspondientes en el año 2023 según el índice de condición tendencia ICTAC para el Pacífico colombiano: A. SFF Malpelo B. PNN Utría y C. PNN Gorgona. Elaborado por LABSIS-INVEMAR. .... 73
- Figura 36. Tendencia promedio general observada a través del tiempo de las condiciones ICTAC observadas en la totalidad de las estaciones de la región Caribe continental entre los años 2014 y 2023. Representación de los colores así: azul: Deseable, verde: Buena, amarillo: Regular, naranja: Alerta y rojo: No Deseable ..... 75
- Figura 37. Tendencia general del comportamiento del ITAC observada a través del tiempo, para la totalidad de las estaciones de la región Pacífico entre los años 2014 y 2023. Representación de los colores: azul: Deseable, verde: Buena, Verde: Buena, Amarillo: Regular, Naranja: Alerta y Rojo: No Deseable ..... 75
- Figura 38. Estaciones de monitoreo de pastos marinos y el estado de sus estaciones según el indicador de condición- tendencia ICTPM Densidad de vástagos en el Caribe colombiano durante el 2023. A Guajira (Cabo Nuevo, Cabo playa, Carrizal, Ahuyama, Manaure, Ballena) B) PNN Corales del Rosario y San Bernardo (Rosario, Isla Mangle y Playa Blanca) C) PNN Tayrona (Chengue, Neguanje y Cinto) D) San Andrés (Isleño, Cotton Cay, Mar Azul, Old Point E) PNN Old Providence McBean Lagoon (Oyster Creek) F) Providencia (Camp, San Felipe, McBean, Smooth Water) ..... 82
- Figura 39. Tendencia promedio general observada a través del tiempo de las condiciones ICTPM observadas en la totalidad de las estaciones de la región Caribe entre los años 2014 y 2023. Representación de los colores así: azul: Regular, naranja: Alerta y rojo: No Deseable..... 83
- Figura 40. Distribución de los manglares en Colombia en el litoral Caribe, en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y en el litoral Pacífico. Esta imagen es una representación gráfica de la ubicación de los manglares en el país y los límites de las Unidades Ambientales Costeras, y tiene únicamente fines ilustrativos (Imagen elaborada por LABSIS-INVEMAR en 2023). ..... 86
- Figura 41. Serie histórica del ICTbm para las estaciones de monitoreo de manglar en San Andres, Providencia y Santa Catalina desde el 2016 hasta el 2023. Los gráficos circulares muestran el porcentaje de la condición del ICTbm en los años 2016, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2023 (Mapa: LabSIS-INVEMAR en 2024). ..... 90
- Figura 42. Tendencia histórica de la condición del ICTbm en las estaciones de monitoreo de a) San Andrés entre 2016-2023 y b) Providencia y Santa Catalina entre 2018-2023. Los colores corresponden a la calificación de la condición de acuerdo con los valores de referencia: Azul: Deseable; Verde: Bueno; Amarillo: Regular; Anaranjado: Alerta y Rojo: No Deseable. .... 91

Figura 43. Serie histórica (2010 - 2023) del Indicador de Integridad Biológica de manglares para las estaciones de monitoreo en la Ciénaga Grande de Santa Marta. A. Aguas Negras, B. Caño Grande, C. Kilómetro 22, D. Luna, E. Rinconada y F. Sevillano .....	95
Figura 44. Captura industrial y artesanal desembarcada para el Caribe y Pacífico colombiano. *Los datos publicados en el SEPEC no cuentan con información para algunos meses del año, por tanto, esta información es subestimada. ....	102
Figura 45. Porcentaje de la captura artesanal en peso por especie desembarcada para el Caribe y Pacífico colombiano. *Los datos publicados en el SEPEC no cuentan con información para algunos meses del año, por tanto, esta información es subestimada. ....	102
Figura 46. Porcentaje de la captura industrial en peso por especie desembarcada para el Caribe y Pacífico colombiano. *Los datos publicados en SEPEC tienen vacíos de información para algunos meses del año, por tanto, esta información es subestimada. ....	103
Figura 47. Captura total anual y por grupo de especies desembarcada de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM. ....	104
Figura 48. Composición anual de la captura desembarcada por especies de peces de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM.....	105
Figura 49. Abundancia relativa de peces (A) y crustáceos y moluscos (B) por arte de pesca en la ecorregion Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM. ....	107
Figura 50. Variación interanual de la talla media de captura (TMC) para las principales especies en la CGSM y su ubicación con respecto a la talla de madurez sexual (TM). En el caso de las Jaibas (B y C) la medida es el ancho del caparazón. ....	109
Figura 51. Composición porcentual de las capturas en peso por arte de pesca para 2023, discriminando las capturas objetivo, incidental y descartes en la CGSM. ....	110
Figura 52. Fracción desovante (color claro) y juvenil (color oscuro) de los principales recursos pesqueros en la CGSM durante 2023.....	112
Figura 53. Variación interanual de la renta económica promedio mensual (+/- EE) por pescador para los principales artes de pesca (Arriba: Peces y Abajo: Invertebrados) en la CGSM y su ubicación con respecto a una renta umbral equivalente a un SMMLV por año (en el 2023 SMMLV = \$ 1.160.000). ....	113
Figura 54. Indicador de la presión pesquera artesanal sobre la estructura de tallas capturadas de las principales especies de peces de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta-CGSM. Indicador certificado por el DANE. ....	115
Figura 55. Variación interanual de la captura objetivo en las pesquerías industriales de camarón del Pacífico (CAS y CAP) y su relación con la cuota global de pesca anual (punto de referencia límite; PRL).....	117
Figura 56. Variación interanual de la captura objetivo en la pesquería de camarón industrial del Caribe y su relación con la cuota global de pesca anual (punto de referencia límite; PRL). ....	117
Figura 57. Variación interanual de la captura por unidad de esfuerzo (kg/h) estimada en las pesquerías de camarón del Pacífico (A) y Caribe (B).....	119
Figura 58. Variación interanual de la talla media de captura (TMC) de las hembras de las principales especies en las pesquerías de camarón del Pacífico con respecto al punto de referencia límite (PRL) que es la talla de madurez sexual (TM).....	121

Figura 59. Variación interanual de la talla media de captura (TMC) de las hembras de camarón rosado <i>Farfantepenaeus notialis</i> , principal especie en la pesquería de cas del caribe colombiano con respecto al punto de referencia límite (p <sub>rl</sub> ).....	121
Figura 60. Variación interanual de la relación fauna acompañante/captura objetivo (FA/CO) en las pesquerías de camarón del Pacífico (A) y el Caribe colombiano (B).....	123
Figura 61. Estructura de tallas para las hembras de la principal especie objetivo en las pesquerías de CAS (izquierda) y de CAP (derecha) del Pacífico colombiano durante 2023, indicando la fracción juvenil y adulta de las capturas y el valor de la talla de madurez (TM). ....	125
Figura 62. Estructura de tallas para las hembras de la principal especie objetivo en la pesquería de CAS del Caribe colombiano durante 2022, indicando la fracción juvenil y adulta de las capturas y el valor de la talla de madurez (TM). ....	126
Figura 63. Variación interanual de la renta promedio por faena ( $\pm$ DE) en las pesquerías de CAS (A) y CAP (B) en el Pacífico colombiano. CT = Costos totales. (- - - PRL = 15% más de los CT).....	127
Figura 64. Variación anual de precios enero 2000 – diciembre 2022 (diciembre 2018=100) .....	129
Figura 65. Esquema de las acciones desarrolladas para la planificación ambiental y la gestión integrada de los ambientes marinos y costeros en Colombia. ....	133
Figura 66. Metodología COLMIZC. Tomado de (Rojas-Giraldo et al., 2010). ....	134
Figura 67. Número de capacitados por año. Fuente: elaboración propia mediante base de datos de capacitaciones anuales.....	139
Figura 68. Áreas marinas Protegidas que integran el SAMP de Colombia. Fuente: elaboración con base en datos del RUNAP (2022). ....	141
Figura 69. Línea de tiempo de la declaratoria de las AMP que integran el SAMP. Fuente: elaboración con base en datos del RUNAP (2022).....	144
Figura 70. Número de áreas marinas protegidas con/sin plan de manejo. Fuente: elaboración propia con base en consultas a las entidades competentes. ....	146
Figura 71. Densidades fitoplanctónicas (cél. L <sup>-1</sup> ) medidas mensualmente entre octubre de 2022 y septiembre de 2023, en las estaciones de Boca de la Barra-LBA y Ciénaga la Luna- CLU en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM).....	149
Figura 72. Abundancias relativas (%), medidas mensualmente en BLA y CLU (CGSM) entre octubre de 2022 y septiembre de 2023.....	149
Figura 73. Densidad y abundancia relativa del fitoplancton registrado en la Bahía Chengue (BCH) y Bahía de Santa Marta (Boya-2) en el 2022 y 2023. ....	151
Figura 74. Abundancia relativa (%) del fitoplancton en bahía Chengue y Boya-2 en el 2022-2023. ....	151
Figura 75. Abundancia general por estación y relativa por género de dinoflagelados bentónicos entre octubre de 2021 y septiembre de 2022-2023 en Bahía Chengue y laguna Chengue. ....	153
Figura 76. Estaciones de monitoreo REDCAM de microplásticos año 2021. (INVEMAR, 2023) .....	155
Figura 77. Proporción de los tipos de microplásticos en las muestras de arena de las playas de Colombia, colectadas en el año 2022.....	156
Figura 78. Abundancia de microplásticos en las playas turísticas del Caribe, registradas en los muestreos realizados en el época seca y época lluviosa en 2022. ....	157

Figura 79. Proporción de los tipos de microplásticos en las muestras de arena de las playas del Caribe, colectadas en: Magdalena (marzo, septiembre y octubre), La Guajira (marzo), Bolívar (abril) y Antioquia (junio) del 2021 (INVEMAR, 2023). .....	158
Figura 80. Abundancia de microplásticos en las playas turísticas del Pacífico, registradas en los muestreos realizados en el época seca y época lluviosa en 2022. ....	158
Figura 81. Proporción de los tipos de microplásticos en las muestras de arena de las playas del Pacífico, colectadas en: Cauca (agosto), Nariño (octubre) y Valle del Cauca (noviembre) del 2021. ....	159
Figura 82. Abundancia de microplásticos en las playas turísticas del Caribe, registradas en los muestreos realizados en el año 2021 y 2022. ....	160
Figura 83. Abundancia de microplásticos en las playas turísticas del Pacífico, registradas en los muestreos realizados en el año 2021 y 2022. ....	160
Figura 84. Porcentaje de especies ensayadas por grupo de organismo para evaluar su bioactividad. ....	164
Figura 85. Número de ensayos biológicos evaluados en especies por grupo de organismo marino y sus derivados. ....	165
Figura 86. Especies de organismos marinos cuyos extractos han sido caracterizados químicamente. ....	166
Figura 87. Medición de variables (suelos, biomasa, necromasa) para estimación de contenidos de carbono en manglares y pastos marinos. Fuente: Archivo INVEMAR. ....	167
Figura 88. Línea de tiempo de las investigaciones en Carbono azul para manglares y pastos marinos. ....	168
Figura 89. Áreas de manglar donde se han realizado estimaciones de carbono azul. Elaborado por: LabSis-INVEMAR. ....	169
Figura 90. Áreas de pastos marinos donde se ha realizado estimaciones de carbono azul. Fuente: Proyecto MAPCO (INVEMAR-Fundación Natura, 2019). ....	170
Figura 91. Imágenes de la página Coral Reef Watch de la NOAA de los meses de febrero, marzo, abril, junio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2023 en el que se evidencia el incremento paulatino y disminución en la distribución de la anomalía térmica tanto en el Pacífico como en el Caribe colombiano. ....	174
Figura 92. Colonias coralinas blanqueadas en el PNN Tayrona. A) <i>Agaricia Lamarcki</i> blanqueada junto a colonias de <i>Pseudodiploria strigosa</i> ; B) Colonia de <i>Diploria labyrinthiformis</i> totalmente blanqueada; C) gran número de colonias de gran tamaño de <i>Orbicella annularis</i> blanca con mortalidad asociada al blanqueamiento en cada uno de sus ramets; E) colonias de <i>Acropora palmata</i> presentando blanqueamiento parcial y F) Colonia grande de <i>Colpophyllia natans</i> blanca y con un área considerable ya muerta. ....	175
Figura 93. Imágenes del blanqueamiento en el arrecife de Varadero. A) investigadores montando un transecto de monitoreo en medio de colonias blanqueadas de <i>Orbicella annularis</i> , <i>Orbicella faveolata</i> y <i>Agaricia tenuifolia</i> . ....	175
Figura 94. Aspecto del blanqueamiento en el PNN McBean Lagoon, en providencia. Fotos A, B y C colonias de <i>Orbicella annularis</i> blanqueadas; D) investigador sobre colonias blanqueadas de <i>Orbicella faveolata</i> . Estas dos especies son las más abundantes en el PNN y conformadoras de los arrecifes. ....	176

Figura 95. Imágenes del blanqueamiento en el SFF Malpelo. A) algunas de las pocas colonias de *Pocillopora eydouxi* afectadas por blanqueamiento; B) investigadora efectuando un registro fotográfico de colonias de *Porites lobata* blanqueadas; C) sector densamente poblado por colonias de *Porites lobata* blanqueadas; D) colonias de *Gardineroseris planulata* igualmente blanqueadas en 100%; E) colonias blanqueadas de *Gardineroseris planulata* junto a una colonia de *Porites lobata* sana y F) grupo denso de colonias de *Pocillopora eydouxi* totalmente sanas..... 176

Figura 96. A. colonia afectada por el impacto de un taco de dinamita, partida por el medio y desplazada de su sitio de origen. B. colonia afectada por un ancla que la aplasta y mata parcialmente. .... 177

Figura 97. Foto Izq. Hojas de los pastos marinos *Thalassia testudinum* (hojas laminares gruesas) y *Syringodium filiforme* (hojas delgadas cilíndricas) afectadas por el hongo *Labyrhintula* spp que genera la mancha oscura hasta degradar toda la hoja. Fotografías del año 2022 ..... 177

Figura 98. Síntomas, signos y agentes causales en los bosques de manglar para el área maderable a) Agallas/Cáncer; b) raíces adventicias anormales; el área foliar c) Herbivoría; d) Mancha necrótica; e) Clorosis; f) Defoliación; y por agentes causales g) hongos; h) Termitas ..... 179

Figura 99. Síntomas y signos del bosque de manglar en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina para el año 2023. DESC: Descortezamiento; EXU: Exudaciones; MAN: Manchas blancas; CLO: Clorosis; DEF: Defoliación; Her: Herbivoría; HPER: Hojas perforadas; MAR: Marchitamiento; MNE: Manchas Necróticas; MAR: Marchitamiento; MNE: Manchas Necróticas; HOR: Hormigas..... 180

Figura 100. Destapamiento de un amplio sector del arrecife de La Chola, en el PNN Utría, Pacífico colombiano, debido a mareas extremas o pujas astronómicas durante febrero del 2023..... 180

Figura 101. Recolección de información biofísica para la cuantificación de carbono en manglares (A) y pastos marinos (B). Fuente: Archivo fotográfico del INVEMAR..... 181

Figura 102. Equipo Vida Manglar. Fuente: Archivo fotográfico de Vida Manglar..... 182

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Áreas y longitudes aproximadas de la zona marina y costera de Colombia. Los vectores fueron re proyectados de Magna Colombia Bogotá a Lambert Azimutal Colombia para estimar áreas y distancias. ....	19
Tabla 2 Autoridades ambientales regionales y locales de la zona costera colombiana .....	23
Tabla 3. Comisiones Conjuntas de las Unidades Ambientales Costeras – UACs (elaboración en el marco de las actividades de la Resolución 478 de 2016 con el Minambiente, Actividad “Incorporar dentro del ordenamiento ambiental del territorio los ecosistemas marinos.....	26
Tabla 4. Resultado índice de erosión costera nacional y por regiones. ....	52
Tabla 5. Variables para el cálculo del ICAM de acuerdo al tipo de agua .....	53
Tabla 6. Escala de valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras – ICAM. Fuente: Vivas-Aguas, 2011. ....	54
Tabla 7. Número de registros del índice de calidad de aguas marinas y costeras con fines de preservación de fauna y flora - ICAM calculados por departamentos en la región Caribe y Pacífico y total nacional.....	55
Tabla 8. Principales tensores antropogénicos relacionados con las condiciones inadecuadas y pésimas de calidad del agua marina y costera determinadas en los departamentos del Caribe y Pacífico colombianos en el periodo 2018 - 2021. Los números representa .....	59
Tabla 9. Valores de referencia para las variables del indice de condición-tendencia de áreas coralinas – ICTAC (Rodríguez-Rincón et al., 2014) en la región Caribe - Referencias de McField et al., 2020). ....	70
Tabla 10. Valores de referencia para las variables del indice de condición-tendencia de áreas coralinas – ICTAC (Rodríguez- Rincón et al., 2014) en la región Pacífico (tomado de SISMAR-INVEMAR).....	70
Tabla 11. Valores de referencia finales para definir el Indice de condición-tendencia de áreas coralinas – ICTAC (Rodríguez-Rincón et al., 2014). ....	71
Tabla 12. Condición de estado según el ICTAC de los valores registrados para cada una de las variables del índice, observada por áreas de la región Caribe continental en el año 2023. Representación de los colores así: azul: Deseable, verde: Buena, amar .....	74
Tabla 13. Condición de estado según el ICTAC de los valores registrados para cada una de las variables del índice, observadas por áreas de la región Pacífico en el año 2023. Representación de los colores así: azul: Deseable, verde: Buena, amarillo: Regular .....	74
Tabla 14. Criterios de condición tendencia con respecto a la densidad (Vástagos/m <sup>2</sup> ) para praderas de pastos marinos mono específicas o mixtas con mayor proporción de <i>Thalassia testudinum</i> . ....	78
Tabla 15. Criterios de condición tendencia con respecto a la densidad (vástagos/m <sup>2</sup> ) para praderas de pastos marinos mixtas dominadas por <i>Syringodium filiforme</i> .....	79
Tabla 16. Escala de valoración preliminar de referencia para la afectación de <i>Labyrinthula</i> spp. del indicador de condición- tendencia pastos marinos– ICTPM.....	79
Tabla 17. Tabla de referentes para la evaluación de abundancia de peces para cada una de las familias más representativas de las praderas de pastos marinos del Caribe. ....	80

Tabla 18. Tabla de referentes para la evaluación de abundancia de peces para cada una de las familias más representativas de las praderas de pastos marinos de La Guajira. ....	80
Tabla 19. Tablero nominal para el promedio de las calificaciones resultantes entre las 3 familias que se evalúan dentro del indicador de pastos marinos. ....	80
Tabla 20. Escala ejemplo de valoración integral del indicador de condición-tendencia de pastos marinos – ICTPM. ....	81
Tabla 21. Condición de estado según el ICTPM de los valores registrados para cada una de las variables del índice, observadas por áreas de la región Caribe continental en el año 2023. Representación de los colores así: azul: Deseable, verde: Buena, am .....	83
Tabla 22. Distribución de las especies de mangle en el Caribe y Pacífico colombiano. Datos tomados de Sánchez-Páez et al. (1997); Spalding et al. (2010), Duke, 2020; Blanco-Libreros y Ramírez-Ruiz, 2021; Rodríguez-Rodríguez et al., 2022). SAI: Archipié.....	87
Tabla 23. Ponderación para las variables que componen el indicador de condición tendencia de bosques de manglar – ICTBM. En proceso de desarrollo.....	88
Tabla 24. Valores de referencia para las variables, que componen el indicador de condición tendencia de bosques de manglar – ICTBM del Caribe colombiano. ....	89
Tabla 25. Escala general del indicador de condición tendencia de bosques de manglar – ICTBM. Actualmente no se encuentra la variable de función (aves) que se encuentra en proceso de revisión. ....	89
Tabla 26. Intervalos de referencia para calcular el IBIm para la Ciénaga Grande de Santa Marta. Los intervalos se construyeron para cada variable, teniendo en cuenta reportes de diferentes fuentes bibliográficas y de los mismos datos obtenidos en el proyecto de monitoreo de bosque de mangle de la Ciénaga grande de Santa Marta .....	94
Tabla 27. Escala de interpretación del indicador de integridad biológica de manglares (IBIm) de la Ciénaga Grande de Santa Marta. ....	94
Tabla 28. Listado de áreas marinas protegidas del SAMP. Fuente: SSD-SAMP (2022). ....	142
Tabla 29. Presencia y abundancia (cél. L <sup>-1</sup> ) de géneros con especies potencialmente nocivas en la Boca de la Barra (LBA) durante el periodo octubre 2022 a septiembre 2023). *Géneros con especies toxigénicas.....	150
Tabla 30. Presencia y abundancia (cél. L <sup>-1</sup> ) de géneros con especies potencialmente nocivas en la Ciénaga la Luna (CLU) durante el periodo octubre 2021-a septiembre 2022.....	150
Tabla 31. Presencia y abundancia (No. cél. L-1) de géneros con especies potencialmente nocivas en la Bahía Chengue (BCH) y en la Bahía de Santa Marta (Boya-2) en 2022-2023. *Géneros con especies toxigénicas.....	152
Tabla 32. Densidades máximas (No. cél. g <sup>-1</sup> p.h) y meses en que se registraron dinoflagelados potencialmente nocivos en el periodo de octubre de 2022 a septiembre de 2023. BCH: Bahía Chengue y LCH: Laguna Chengue.....	153
Tabla 33. Tipos de microplásticos encontrados en la arena de las playas del Caribe.....	158
Tabla 34. Consolidado de especies marinas por grupo de organismo con al menos un ensayo de bioactividad evaluado hasta 2023 Y las que se han caracterizado químicamente hasta el 2023. .	163
Tabla 35. Carbono orgánico (Mg/ha) almacenado en los manglares de los proyectos por departamento .....	171

# CAPÍTULO I

## LOS ESPACIOS OCEÁNICOS Y ZONAS COSTERAS E INSULARES DE COLOMBIA



Bahia Tukakas, La Guajira. Foto: Manuel Garrido

## MARCO GEOGRÁFICO

Colombia es un país con 1'137.814 km<sup>2</sup> de área continental, que cuenta aproximadamente con 3.531 km de costa sobre el océano Pacífico y el mar Caribe, que le otorgan otros 892.102 km<sup>2</sup> de aguas jurisdiccionales, según el mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos (IDEAM et al., 2007), para una extensión total de cerca de 2'070.408 km<sup>2</sup>. Es así como Colombia tiene un área marino costera relativamente igual a la de su territorio continental y de ahí el origen del lema institucional del INVEMAR: "Colombia 50% Mar".

La zona costera definida por la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia PNAOCI, corresponde a la franja del litoral de 2 km atrás de los ecosistemas de influencia marina, de las áreas marinas protegidas y de los centros poblados costeros, y tiene una extensión emergida (continental e insular) de 16.128 km<sup>2</sup> (aprox. 1,5% del territorio emergido), pero la extensión de la zona costera también va hasta la plataforma continental mar adentro. La mayor parte del límite exterior de la plataforma continental coincide con la isóbata de los 200 m y en general la zona costera marina representa un 6% de las aguas jurisdiccionales.

El Caribe colombiano está localizado en el sector más septentrional de Suramérica, en su extremo noroccidental. Debido a la ubicación del Archipiélago de San Andrés, Providencia, Santa Catalina y los cayos e islotes asociados, Colombia tiene fronteras internacionales con Jamaica, Haití y República Dominicana al norte, con Costa Rica y Nicaragua al noroccidente, hacia el oriente limita con Venezuela, en donde la frontera cruza la línea de costa en el sector de Castilletes (N 11°50', W 71°20') y al occidente comparte frontera con Panamá, cruzando la zona costera en cabo Tiburón (N 08°41'7,3" W 77°21'50,9"). Tiene una zona costera emergida de 7.673 km<sup>2</sup> y una superficie de aguas jurisdiccionales de 532.154 km<sup>2</sup> (Tabla 1). Para efecto de una mejor comprensión de los datos de línea de costa debido a factores de escala y criterios geomorfológicos, en la Tabla 1, se describe la longitud a escala 1:30.000, 1:100.000 y 1:500.000.

**Tabla 1. Áreas y longitudes aproximadas de la zona marina y costera de Colombia. Los vectores fueron re proyectados de Magna Colombia Bogotá a Lambert Azimutal Colombia para estimar áreas y distancias.**

		REGIÓN		TOTAL
		Caribe	Pacífico	
<b>Línea de costa (km) Escala: 1:30.000<sup>1</sup></b>	Continental	1.980	1.779 <b>⌘</b>	3.858
	Insular del margen continental	35 <b>γ</b>	⌘	
	Insular oceánico	65	⌘	
	Subtotal	2.080	1.778	
<b>Línea de costa (km) Escala: 1.100.000<sup>2</sup></b>	Continental	2.070 <b>⌘</b>	4.684 <b>ϕ</b>	6.969
	Insular del margen continental	100 <b>•</b>	24 <b>©</b>	

<sup>1</sup>La línea de costa escala 1:30.000 para el año 2020 es el resultado de la digitalización semiatuomatizada utilizando el algoritmo CoastSat con imágenes Sentinel 2 de 10 m de resolución por píxel (INVEMAR, 2022a), esta línea de costa no incluye algunos sectores insulares del margen continental dada la resolución del análisis y de los requerimientos de la operación estadística a la cual pertenece; tampoco incluye los esteros o zonas internas del Pacífico contrario a la línea de costa escala 1:100.000 (INVEMAR e IDEAM, 2017), de ahí las diferencias en el reporte de extensión por regiones y totales.

<sup>2</sup> Los datos de longitud de línea de costa (km), escala: 1:100.000 de esta tabla tiene como fuente principal la base de datos geográfica del proyecto de Elaboración del Análisis de Vulnerabilidad Marino Costera e Insular ante el Cambio Climático para el país (INVEMAR e IDEAM, 2017) y fueron ajustados acorde a las condiciones descritas en la nota al pie de la tabla. Esta línea de costa fue generada con base a criterios geofísicos en donde se incluyeron de manera completa las zonas de esteros, bocas, islas barreras y sistemas deltaicos que tienen

		REGIÓN		TOTAL
		Caribe	Pacífico	
	Insular oceánico	84 ⌘	7 ⚡	
	Subtotal	2.253	4.715	
<b>Línea de costa (km) Escala: 1.500.000<sup>3</sup></b>	Continental	1.785 ✕	1.545 ⚡	3.531
	Insular del margen continental	86 •	50 ©	
	Insular Oceánico	60 ⌘	4 ⚡	
	Subtotal	1.932	1.599	
<b>Área emergida de la zona costera (km<sup>2</sup>)</b>	Continental	7.594	8.435	16.128
	Insular del margen continental	30	20	
	Insular Oceánico	49	1	
	Subtotal	7.673	8.456	
<b>Extensión de aguas jurisdiccionales (km<sup>2</sup>)</b>	Extensión de aguas costeras	30.219	21.205	892.102
	Extensión de aguas oceánicas	501.935	338.744	
	Subtotal	532.154	359.948	

Condiciones para medición de línea de costa: © Insular del margen continental Pacífico incluye isla Gorgona, • Insular del margen continental Caribe incluye islas Tierra Bomba, Fuerte, Arena e islas del Rosario y San Bernardo. ⌘ Insular oceánico Caribe incluye islas de San Andrés y Providencia. ⚡ Insular oceánico Pacífico incluye isla Malpelo. ✕ Continental Caribe borde litoral externo, contando con los límites internos de lagunas costeras. ⚡ Continental Pacífico borde litoral externo, contando con los límites internos de los esteros e incluyendo San Andrés de Tumaco. ⚡ Por la resolución del análisis no se incluyó la línea de costa insular de las de Gorgona y Malpelo. ⚡ Insular del margen continental Caribe solo incluye la isla de Tierra Bomba. ⌘ Continental Pacífico no incluye el borde interno de zonas de esteros, bocas y sistemas deltáicos.

La división político administrativa de la costa continental del Caribe colombiano está conformada por los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia y Chocó que agrupan a su vez con 45 municipios. La autoridad marítima está presente con 7 Capitanías de Puerto y las autoridades ambientales regionales y locales están conformadas por 11 instituciones entre Corporaciones Autónomas Regionales – CAR, Establecimientos Públicos Ambientales – EPA y un Departamento Administrativo Distrital del Medio Ambiente, encargados de la gestión ambiental (Tabla 2). Desde el punto de vista fisiográfico costero predomina la llanura Caribe, que se extiende hacia el norte de las estribaciones de las cordilleras Occidental y Central (serranías de Abibe y San Jerónimo). Resaltan el relieve de la Sierra Nevada de Santa Marta que se levanta desde el nivel del mar hasta 5.770 m, como un macizo aislado, los paisajes desérticos de La Guajira, los deltas de los ríos Magdalena, Sinú y Atrato, así como los golfos de Morrosquillo en Sucre y de Urabá en Antioquia (Steer *et al.*, 1997; Maldonado *et al.*, 1998; INVEMAR *et al.*, 2002; Correa y Restrepo, 2002; Posada y Henao, 2008). Los archipiélagos de las islas del Rosario y de San Bernardo, ambos originados por diapirismo de lodo, colonizados por formaciones arrecifales (Vermette, 1985; Maldonado *et al.*, 1998), pertenecen al Caribe insular continental y se localizan en la plataforma continental frente a los departamentos de Bolívar y Sucre.

una mayor influencia de la marea; de por más se encontrará que la longitud en kilómetros excede la de reportes generados anteriormente.

<sup>3</sup> Los datos de áreas y longitud de línea de costa escala 1:500.000 de esta tabla tienen como fuente principal la base de datos geográfica del Mapa de Ecosistemas Continentales Costeros y Marinos, (IDEAM *et al.*, 2007) y fueron ajustados acorde a las condiciones descritas en la nota al pie de la tabla.

La costa Caribe insular oceánica está conformada por el archipiélago de San Andrés, Providencia, Santa Catalina y sus islotes y cayos asociados; se ubica al noroeste del país, en la llamada zona de elevación de Nicaragua, entre las coordenadas 10°49' y 16°10' de latitud Norte y 78° 00' y 82°14' de longitud Oeste (Figura 1). Tiene una extensión de línea de costa de 100 km aproximadamente y un área terrestre de 49 km<sup>2</sup> (Posada *et al.*, 2011) (Tabla 1). Administrativamente está conformada por un solo departamento, con presencia de 2 Capitanías de Puerto y por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORALINA) encargada de la gestión ambiental en todo el Archipiélago (Tabla 2) El litoral Pacífico está integrado por los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño, que agrupan 16 municipios costeros. La autoridad marítima tiene presencia con 4 Capitanías de Puerto, y la gestión ambiental regional y local, está a cargo de 4 CAR y 1 EPA (Tabla 2). La costa del Pacífico se divide en dos regiones fisiográficamente diferentes: la zona norte, entre Panamá y cabo Corrientes, de aproximadamente 375 km de longitud, constituida por costas acantiladas muy accidentadas, correspondientes a la serranía del Baudó. Hacia el sur de cabo Corrientes hasta el límite con el Ecuador la costa es baja, aluvial, con planos inundables cubiertos por manglares, una red de drenaje densa conformada por ríos y esteros y sólo interrumpidos por pequeños tramos de acantilados en bahías de Málaga, Buenaventura y Tumaco (Maldonado *et al.*, 1998; Posada *et al.*, 2009; Posada *et al.*, 2011).

Desde el punto de vista hidrográfico 99 ríos principales desembocan en las costas colombianas, de los cuales 43 tributan en el mar Caribe y 56 en el océano Pacífico, siendo los principales aportes de aguas dulces en el Caribe el río Magdalena - Canal del Dique, el río Atrato y el río Sinú; En el Pacífico los ríos San Juan, Mira y Micay (IDEAM, 2014). En general, los ecosistemas dominantes son las playas de arena, acantilados y manglares.

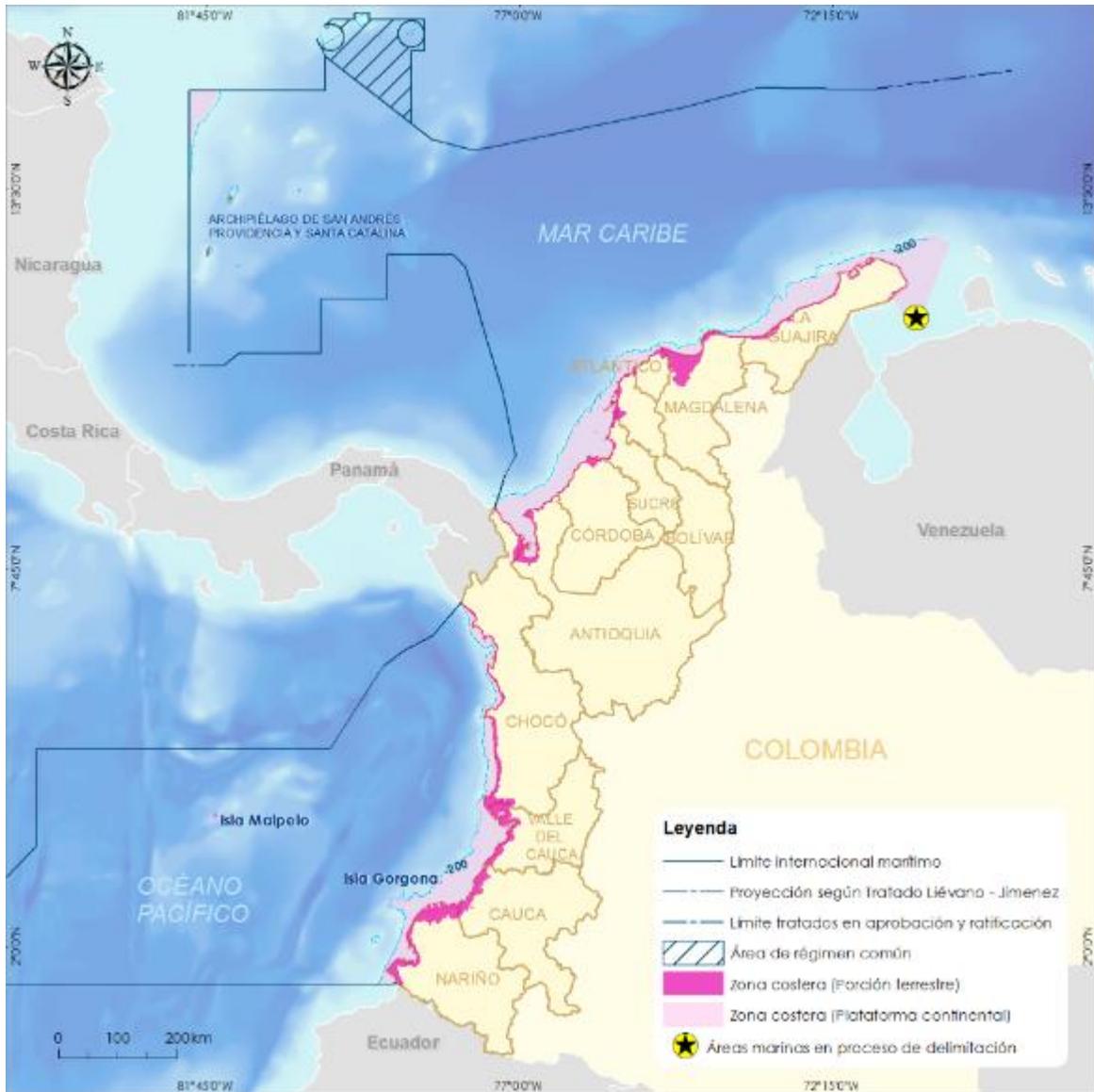


Figura 1. Fronteras nacionales e internacionales de la zona marino – costera del territorio colombiano (modificado de IGAC, 2002).

La zona costera colombiana se constituye en el principal eje de desarrollo económico del país, donde sobresalen las actividades portuarias, turísticas, pesqueras y minero-energéticas, especialmente en la región Caribe; esto a pesar las brechas sociales con respecto al territorio nacional, resaltando en este sentido la región Pacífico (Banrep, 2017). Es importante destacar el aporte de los 12 departamentos costeros al Producto Interno Bruto (PIB) nacional, cuya participación durante el 2016-2020 se ha mantenido cercana al 41,3% en promedio, y para el año 2020 reportó \$417.643,2 (miles de millones de pesos) (DANE, 2021). En Colombia se han delimitado diez zonas portuarias marítimas ubicadas en nueve departamentos: La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre Antioquia, San Andrés Isla, Valle del Cauca y Nariño, por las cuales se movilizó durante el año 2021 el 98,4% de carga, con una variación negativa del 0,43% con respecto al año 2019, alcanzando los 4,5 millones de contenedores (SuperTransporte, 2021).

La población residente en las zonas costeras e insulares para el año 2021 es cercana a los 6.573.642 habitantes, de los cuales cerca del 87,4% se encuentra en la región Caribe, principalmente en los centros urbanos de Barranquilla, Cartagena y Santa Marta; por su parte, los mayores núcleos urbanos del Pacífico colombiano son el Distrito de Buenaventura y el municipio de San Andrés de Tumaco (DANE, 2018a).

Tabla 2 Autoridades ambientales regionales y locales de la zona costera colombiana

	DEPARTAMENTOS	MUNICIPIOS COSTEROS	AUTORIDADES AMBIENTALES	CAPITANÍAS DE PUERTO
Costa Caribe	Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	Isla San Andrés	CORALINA	San Andrés
		Isla Providencia		Providencia
	La Guajira	Uribe	COPORGUAJIRA	Puerto Bolívar
		Manaure		
		Riohacha		Riohacha
		Dibulla		
	Magdalena	Santa Marta	DADMA	Santa Marta
		Ciénaga	CORPAMAG	
		Zona Bananera		
		Puebloviejo		
		El Retén		
		Pivijay		
		SitioNuevo		
		Remolino		
	Salamina			
	Atlántico	Barranquilla	EPA	Barranquilla
		Puerto Colombia	CRA	
		Tubará		
		Juan de Acosta		
		Soledad		
		Piojó		
		Luruaco		
	Bolívar	Cartagena de Indias	EPA	Cartagena
María la Baja		CARDIQUE		
Santa Catalina				
Santa Rosa				
Turbaco				
Turbaná				
Arjona				
Sucre	San Onofre	CARSUCRE	Coveñas	
	Tolú			
	Coveñas			
	Palmito			
Córdoba	San Antero	CVS	Coveñas	
	San Bernardo del Viento			
	Lorica			
	Moñitos			
	Puerto Escondido			
	Los Córdoba			
Antioquia	Apartadó	CORPOURABA	Turbo	
	Arboletes			
	Carepa			
	San Juan de Urabá			
	Necoclí			
	Turbo			

	DEPARTAMENTOS	MUNICIPIOS COSTEROS	AUTORIDADES AMBIENTALES	CAPITANÍAS DE PUERTO
Costa del Pacífico	Chocó	Unguía	CODECHOCÓ	
		Acandí		
	Chocó	Juradó	CODECHOCÓ	Bahía Solano
		Bojayá		
		Bahía Solano		
		Nuquí		
		Bajo Baudó		
	Valle del Cauca	Buenaventura	CVC	Buenaventura
			EPA	
	Cauca	López de Micay	CRC	Guapi
		Timbiquí		
		Guapi		
	Nariño	Santa Bárbara	CORPONARIÑO	Tumaco
		El Charco		
		La Tola		
Olaya Herrera				
Mosquera				
Francisco Pizarro				
San Andrés de Tumaco				

## UNIDADES DE GESTIÓN

Según el (DNP, 2007a) el ordenamiento territorial (OT) se refiere, por una parte, a la organización y la estructura político administrativa del Estado: funciones, competencias, interrelaciones entre los niveles de gobierno, etc. Y por la otra, a la relación de la sociedad con el territorio, que se evidencia a través de diferentes dinámicas y prácticas políticas, sociales, económicas, ambientales y culturales, generadoras de condiciones específicas de desarrollo territorial. Ambos elementos del OT son interdependientes y de su adecuada regulación y planificación depende la posibilidad de administrar y gestionar eficientemente el territorio tanto continental como marino y aprovechar sus potencialidades en procura de un desarrollo equilibrado y sostenible, una mayor integridad territorial, un fuerte sentido de cohesión social y, en general, un mayor nivel de bienestar para la población.

En este contexto, la PNAOCI (MMA, 2001), estableció las tres grandes regiones oceánicas y costeras del país (Caribe Continental y Oceánico, Caribe Insular y Pacífico Continental), como regiones integrales de planificación del desarrollo y ordenamiento territorial, reconociendo que cada una de ella tiene dinámicas y características particulares que ameritan reconocer en estos procesos particulares.

Según la PNAOCI, esta estrategia permite establecer diferentes niveles o instancias dentro del proceso de administración de las zonas costeras. Hace énfasis en la escala de las grandes regiones para mostrar la necesidad de agrupar administrativamente y para efectos de planificación estratégica a todas las unidades administrativas de cada costa, con base en el argumento de que cada una de ellas tiene su propia base ecosistémica, problemática y diagnóstica.

Por otra parte, al interior de cada una de las Regiones Integrales de Planificación, se definieron unidades ambientales y geográficas continuas, con ecosistemas claramente definidos, que requieren una visualización y manejo unificado. Se establecieron 12 unidades ambientales, unas de carácter costero y otras oceánicas –UACO’s, que constituyen los espacios oceánicos y la zona costera nacional. La delimitación de la zona costera del país inicialmente se realizó según los criterios

definidos por la PNAOCI (MMA, 2001), y posteriormente según lo definido por la Ley 1450 de 2011 (Congreso de Colombia, 2011), Decreto 1120 de 2013 (Minambiente, 2013) y el Decreto único reglamentario 1076 de 2015 (Minambiente, 2015). Esta delimitación sectoriza las zonas costeras del país en unidades ambientales homogéneas. Su descripción y localización (Figura 2), es la siguiente:

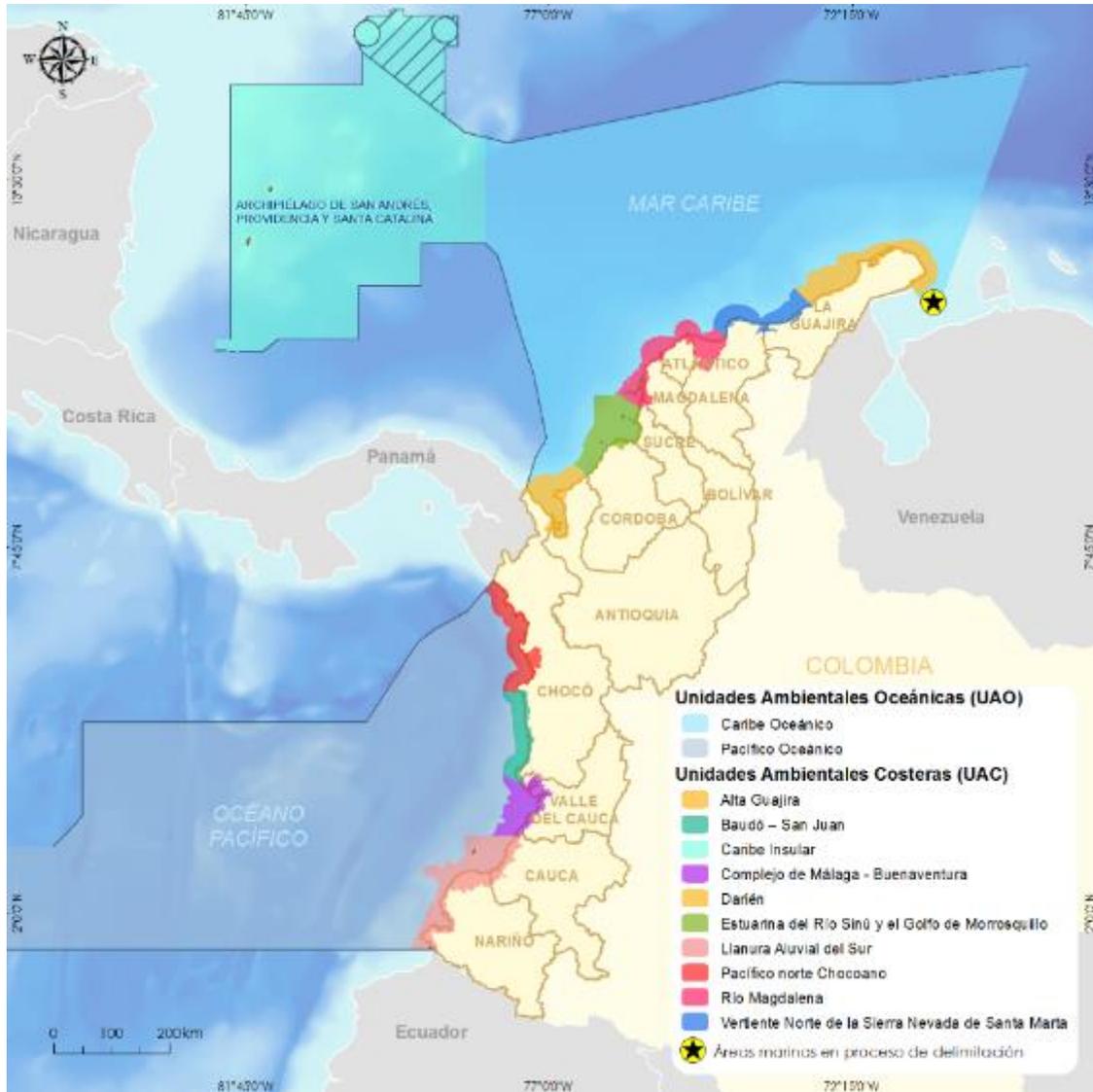


Figura 2. Localización de las Unidades Ambientales Oceánicas y Costeras (modificado de INVEMAR, 2000).

### Región Caribe insular

- **Unidad Ambiental Caribe Insular – Reserva de Biósfera SEAFLOWER:** Comprende el territorio del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, incluyendo su territorio emergido y sumergido.

### Región Caribe y Pacífico continental y oceánica

- **Unidad Ambiental Costera de la Alta Guajira:** desde Castilletes (frontera con Venezuela) hasta la margen noreste del río Ranchería en el departamento de La Guajira.

- **Unidad Ambiental Costera de la Vertiente Norte de La Sierra Nevada de Santa Marta:** desde la margen boca del río Ranchería (incluyéndola) hasta la boca del río Córdoba (incluyéndola) en el departamento del Magdalena.
- **Unidad Ambiental Costera del Río Magdalena complejo Canal del Dique – sistema lagunarde la Ciénaga Grande de Santa Marta:** desde la boca del río Córdoba hasta punta Comisario. Incluye isla Tierra Bomba, isla Barú, y el archipiélago de Nuestra Señora del Rosario.
- **Unidad Ambiental Costera Estuarina del Río Sinú y el Golfo de Morrosquillo:** desde punta Comisario hasta punta del Rey, límites de los departamentos de Antioquia y Córdoba. Incluye el archipiélago de San Bernardo, isla Palma, isla Fuerte e isla Tortuguilla.
- **Unidad Ambiental Costera del Darién:** desde punta del Rey, límite de los departamentos de Antioquia y Córdoba hasta cabo Tiburón (frontera con Panamá) en el departamento del Chocó.
- **Unidad Ambiental Caribe Oceánico:** representada por todas las áreas marinas jurisdiccionales de Colombia en el mar Caribe a partir de la isóbata límite convencional de la plataforma continental o insular.
- **Unidad Ambiental Costera Pacífico Norte Chocoano:** desde la frontera con Panamá (Hito Pacífico) hasta cabo Corrientes en el departamento del Chocó.
- **Unidad Ambiental Costera del Baudó - San Juan:** desde cabo Corrientes hasta el delta del río San Juan (incluyéndolo), en el departamento del Chocó.
- **Unidad Ambiental Costera del Complejo de Málaga - Buenaventura:** desde el delta del río San Juan hasta la boca del río Naya en el departamento del Cauca.
- **Unidad Ambiental Costera de la Llanura Aluvial Sur:** desde la boca del río Naya en el límite del departamento del Cauca, hasta la boca del río Mataje (Hito Casas Viejas - Frontera con Ecuador) en el departamento de Nariño. Incluye las islas de Gorgona y Gorgonilla.
- **Unidad Ambiental Pacífico Oceánico:** representada por todas las áreas marinas jurisdiccionales de Colombia en el océano Pacífico a partir de la isóbata límite convencional de la plataforma continental o insular.

Así mismo, el Decreto 1120 de 2013, compilado en el Decreto Único Reglamentario del sector ambiente 1076 de 2015 (Minambiente, 2015), establece la creación de las comisiones conjuntas para cada UAC (Tabla 3), cuyo objeto es concertar y armonizar el proceso de ordenación y manejo de estas áreas. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Minambiente, es quien preside las comisiones conjuntas y ha venido realizando una importante labor con las entidades competentes, las cuales están en la facultad para crear comités técnicos encargados de suministrar el soporte para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo Integrado de las Unidades Ambientales Costeras – POMIUAC y la toma de decisiones.

Por su parte el INVEMAR en el marco de sus actividades ha venido acompañando y trabajando con el Minambiente y las comisiones conjuntas en temas de planificación y ordenamiento para fortalecer sus actividades misionales en el ámbito marino (Tabla 3).

**Tabla 3. Comisiones Conjuntas de las Unidades Ambientales Costeras – UACs (elaboración en el marco de las actividades de la Resolución 478 de 2016 con el Minambiente, Actividad “Incorporar dentro del ordenamiento**

ambiental del territorio los ecosistemas marinos

UNIDAD AMBIENTAL +COSTERA	INTEGRANTES DE LA COMISIÓN CONJUNTA
<p><b>UAC Alta Guajira</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Director(a) de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), quien la presidirá.</li> <li>• Director(a) de la Corporación Autónoma Regional (CAR) de La Guajira (CORPOGUAJIRA), o su delegado.</li> <li>• Director(a) PNN (en el acta de creación de la Comisión Conjunta no figura, pero fue incluida en un acta posterior).</li> </ul>
<p><b>UAC Vertiente Norte de la Sierra Nevada de Santa Marta</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministro(a) de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o su delegado (el Director(a) de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos del MADS), quien la presidirá.</li> <li>• Director(a) de la Corporación Autónoma Regional (CAR) de La Guajira (CORPOGUAJIRA), o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la CAR del Magdalena (CORPAMAG), o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la Dirección Territorial Caribe de Parques Nacionales Naturales de Colombia, o su delegado.</li> <li>• Director(a) del Departamento Administrativo Distrital para la Sostenibilidad Ambiental (DADSA), o su delegado.</li> </ul>
<p><b>UAC del Río Magdalena, complejo Canal del Dique – Sistema Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministro(a) de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o su delegado (el Director(a) de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos del MADS) quien la presidirá.</li> <li>• Director(a) Territorial Caribe de Parques Nacionales Naturales de Colombia, o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la CAR del Atlántico (CRA), o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la CAR del Canal del Dique (CARDIQUE), o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la CAR del Magdalena (CORPAMAG), o su delegado.</li> <li>• El director(a) de la CAR de Sucre (CARSUCRE), o su delegado.</li> <li>• Director(a) del Establecimiento Público Ambiental de Cartagena (EPA), o su delegado.</li> <li>• Director(a) del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente de Barranquilla (DAMAB), o su delegado.</li> </ul>
<p><b>UAC Estuarina del Río Sinú y el Golfo de Morrosquillo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministro(a) de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o su delegado (el Director(a) de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos del MADS, quien la presidirá.</li> <li>• Director(a) de la Dirección Territorial Caribe de Parques Nacionales Naturales de Colombia, o su delegado.</li> <li>• El director(a) de la CAR de Sucre (CARSUCRE), o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la CAR del Canal del Dique (CARDIQUE), o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la CAR de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS), o su delegado.</li> </ul>

UNIDAD AMBIENTAL +COSTERA	INTEGRANTES DE LA COMISIÓN CONJUNTA
<b>UAC del Darién</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Director(a) de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos del MADS, quien la presidirá.</li> <li>• Director(a) de la CAR para el Desarrollo Sostenible de Chocó (CODECHOCÓ), o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la CAR para el Desarrollo Sostenible del Urabá (CORPOURABÁ), o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la Dirección Territorial Caribe de Parques Nacionales Naturales de Colombia, o su delegado.</li> </ul>
<b>UAC Caribe Insular</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decreto 415 de 2017.</li> </ul>
<b>UAC Pacífico Norte Chocoano</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Director(a) de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos del MADS, quien la presidirá.</li> <li>• Director(a) de la CAR para el Desarrollo Sostenible de Chocó (CODECHOCÓ), o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la Dirección Territorial Pacífico de Parques Nacionales Naturales de Colombia.</li> </ul>
<b>UAC Baudó-San Juan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Director(a) de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos del MADS, quien la presidirá.</li> <li>• Director(a) de la CAR para el Desarrollo Sostenible de Chocó (CODECHOCÓ), o su delegado.</li> </ul>
<b>UAC del Complejo de Málaga - Buenaventura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Director(a) de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos del MADS, quien la presidirá.</li> <li>• Director(a) de la CAR del Valle del Cauca (CVC), o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la Dirección Territorial Pacífico de Parques Nacionales Naturales de Colombia.</li> </ul>
<b>UAC de la Llanura Aluvial del Sur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Director(a) de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos del MADS, quien la presidirá.</li> <li>• Director(a) de la CAR de Nariño (CORPONARIÑO), o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la CAR del Cauca (CRC), o su delegado.</li> <li>• Director(a) de la Dirección Territorial Pacífico de Parques Nacionales Naturales de Colombia.</li> </ul>

**Nota:** Todas las comisiones fueron conformadas mediante actas, la información correspondiente a los integrantes de las mismas fue extraída de dichas actas.

## CAPÍTULO II

# ESTADO DEL AMBIENTE Y LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS: INDICADORES DE ESTADO



Pez globo (*Diodon holocanthus*) en el PNN Old Providence McBean Lagoon - Foto por: Andrés Acosta

## INTRODUCCIÓN

### EL AMBIENTE ABIÓTICO

#### Anomalías de la temperatura superficial del mar en la cuenca Pacífica colombiana en el año 2023

El fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un patrón climático que se desarrolla debido a los cambios en las condiciones océano-atmosféricas en el Océano Pacífico Ecuatorial (OPE) y Oriental (Wang and Fiedler, 2006). Estas oscilaciones durante su fase de calentamiento (El Niño, +0,5° C) y su fase de enfriamiento (La Niña, -0,5° C) tiene implicaciones directas en la temperatura superficial del mar y en la distribución de las lluvias en los trópicos.

El análisis de la anomalía de temperatura superficial del mar (ATSM) lo realiza la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) a partir del conjunto de los datos de Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST v5; Huang, 2017) almacenados en el International Comprehensive Ocean–Atmosphere Dataset (ICOADS). Este Dataset contiene los promedios mensuales de temperatura superficial del mar (TSM) en una grilla horizontal de 2° x 2° desde enero de 1854 hasta el presente. En el análisis de ATSM para las regiones definidas de El Niño con presencia en la cuenca del Océano Pacífico Oriental (Niño 3.4, Niño 3 y Niño 1+2; Figura 3), se observa que en las regiones 3.4 y 3 a inicios del año (enero y febrero) se registraron condiciones neutrales con ATSM entre 0 y 0.4° C, aumentando consistentemente hasta diciembre donde alcanzaron *ca.* 2° C. En consecuencia, en la región de El Niño 1+2, que se sitúa frente a la costa de Ecuador y Perú (con mayor cercanía e influencia en la zona del Pacífico sur colombiano), se registró el aumento progresivo de esas ATSM a partir de febrero, hasta aproximadamente los 2.5° C a principios del mes de abril. Durante julio-agosto la ATSM registró con valores cercanos a los 3.5° C. Aunque, en la región Niño 1+2 las anomalías después de agosto han tenido un descenso paulatino, en la región 3.4 las anomalías se han mantenido en ascenso, alcanzando 2° C en el mes de diciembre. Es importante mencionar que, considerando el índice ONI de la NOAA, calculado a partir de las condiciones de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región 3.4, el año 2022 se pudo clasificar como un año La Niña y el año 2023 como un año El Niño.

De acuerdo con la zonificación climática propuesta por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico - CCCP (2002) para la cuenca Pacífica colombiana (CPC), la Zona Norte está comprendida entre las latitudes 07° 08' y 04° 57' N, la Zona Centro entre latitudes 04° 57' y 03° 00' N y la Zona Sur entre latitudes 03° 00' y 01° 36' N. Tomando como referencia esta zonificación, se realizaron tres transectos en la CPC representados en una serie longitud-tiempo (Hovmöller) de ATSM para el año 2023 (Figura 4) Para ello, se utilizaron los datos de TSM procedentes de los productos de *Global Ocean OSTIA Sea Surface Temperature and Sea Ice Reprocessed* (<https://doi.org/10.48670/moi-00168>, Good et al., 2020) y *Global Ocean OSTIA Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis* (<https://doi.org/10.48670/moi-00165>, Stark et al., 2007; Dolton et al., 2012; Good et al., 2020) de la base de datos del *Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)*, con resolución espacial y temporal de 0.05° x 0.05° y diaria, respectivamente, y que abarca el período entre 1995 y 2022.

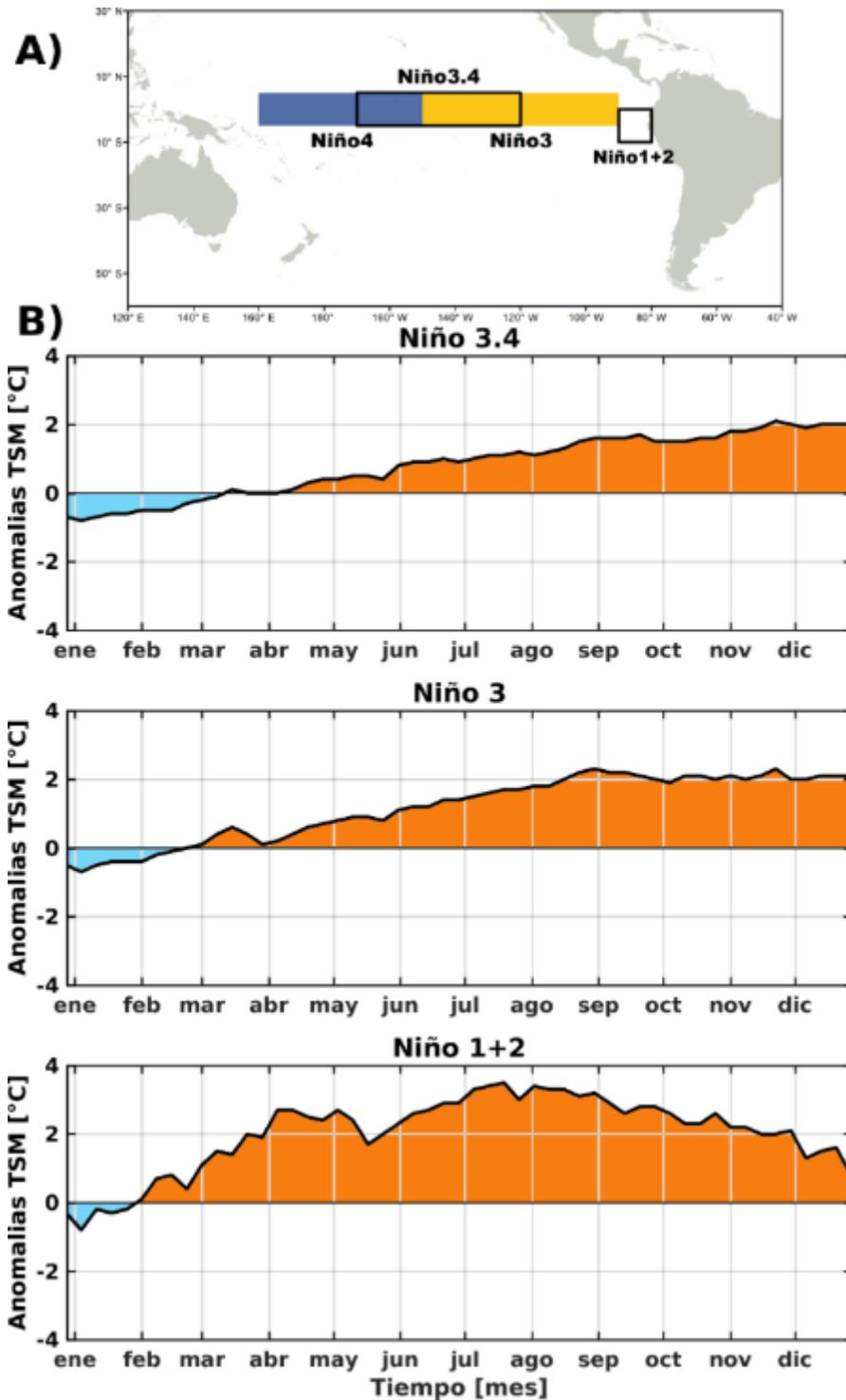


Figura 3. A) mapa de zonificación de regiones Niño en el Océano Pacífico tropical (tomado de CIIFEN). B) variación de la ATSM durante 2023 para las regiones Niño 3.4, Niño 3 y Niño 1+2 en el Pacífico Tropical Oriental. Fuente de datos: ERSST v5, NOAA.

De acuerdo con la zonificación climática propuesta por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico - CCCP (2002) para la cuenca Pacífica colombiana (CPC), la Zona Norte

está comprendida entre las latitudes  $07^{\circ} 08'$  y  $04^{\circ} 57'$  N, la Zona Centro entre latitudes  $04^{\circ} 57'$  y  $03^{\circ} 00'$  N y la Zona Sur entre latitudes  $03^{\circ} 00'$  y  $01^{\circ} 36'$  N. Tomando como referencia esta zonificación, se realizaron tres transectos en la CPC representados en una serie longitud-tiempo (Hovmöller) de ATSM para el año 2023 (Figura 4) Para ello, se utilizaron los datos de TSM procedentes de los productos de *Global Ocean OSTIA Sea Surface Temperature and Sea Ice Reprocessed* (<https://doi.org/10.48670/moi-00168>, Good et al., 2020) y *Global Ocean OSTIA Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis* (<https://doi.org/10.48670/moi-00165>, Stark et al., 2007; Dolton et al., 2012; Good et al., 2020) de la base de datos del *Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)*, con resolución espacial y temporal de  $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$  y diaria, respectivamente, y que abarca el período entre 1995 y 2022.

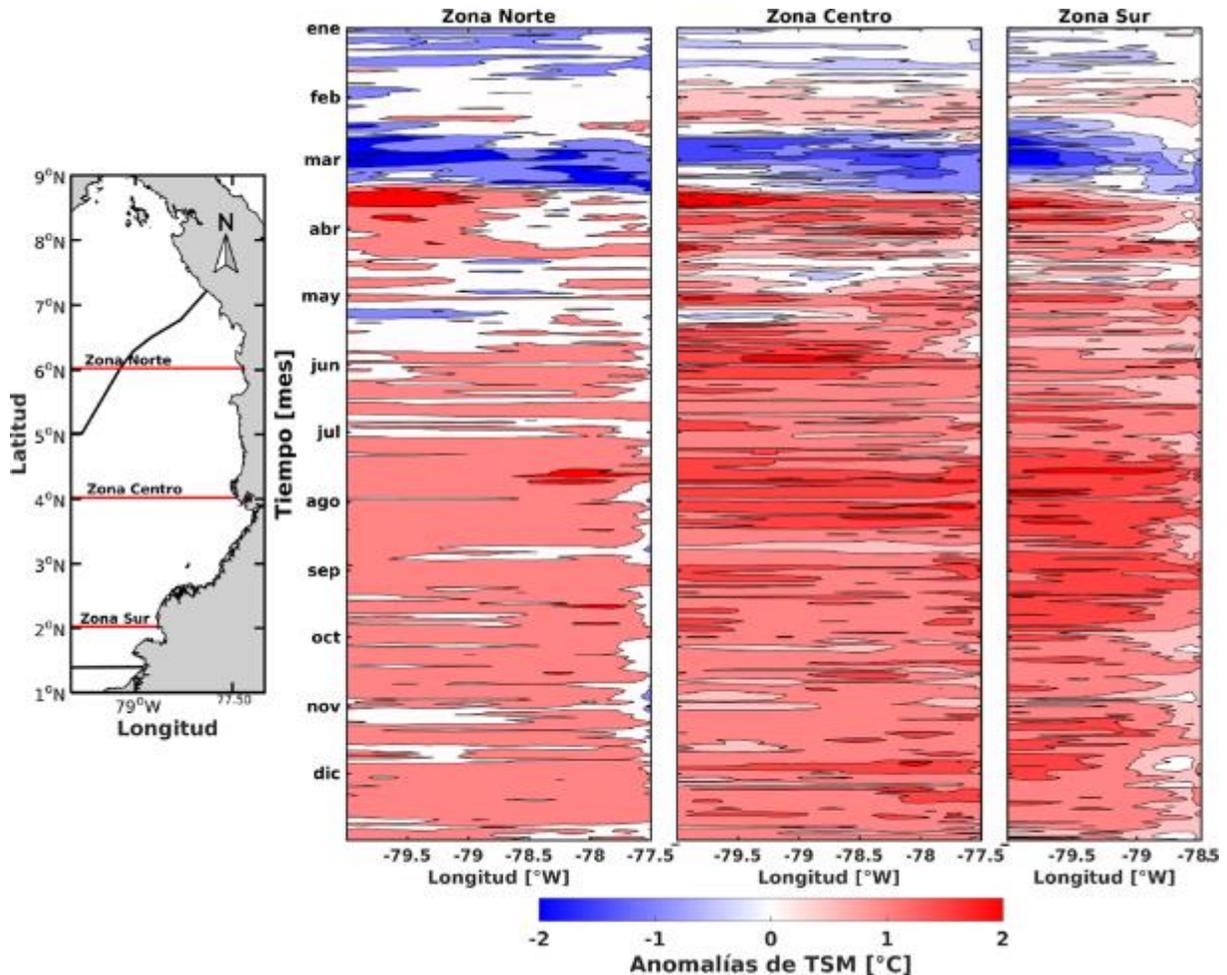


Figura 4. Distribución longitud-tiempo (Hovmöller) de las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) para Zona Norte ( $6^{\circ}$  N), Centro ( $4^{\circ}$  N) y Sur ( $2^{\circ}$  N) de la CPC durante el año 2023. Fuente de datos: CMEMS.

Los resultados del Hovmöller muestran la evolución temporal y espacial de las anomalías de calor en la CPC. Para el año 2023, los efectos de El Niño indujeron aumentos notables en los valores de la TSM en toda la cuenca, intensificándose desde el mes de abril hasta diciembre y alcanzando hasta  $2^{\circ}$  C por encima de su media. A nivel espacial se observó una migración latitudinal del efecto de El Niño desde la Zona Sur hacia la Zona Norte, donde la divergencia local que ocurre en los primeros tres meses de año en esta área podría estar modulando dicho efecto, contrario a lo que ocurre en

la Zona Sur. Este aspecto pone en manifiesto las posibles implicaciones que podría tener este fenómeno sobre los ecosistemas vulnerables a incrementos prolongados de la TSM principalmente en la Zona Sur de la CPC.

### Clima Marítimo en la zona costera del Departamento del Magdalena

El mar de fondo es un fenómeno natural comúnmente conocido como “mar de leva” caracterizado por presentar olas de mayor altura, que se propagan lejos de su punto de origen y al llegar a la costa rompen con mayor intensidad, dependiendo de diversos factores, como la inclinación o forma de la playa. La altura de estas olas está influenciada por la intensidad y la duración de los vientos que las generan (Samedo *et al.*, 2011) y en ocasiones suele combinarse con “mar de viento”. Este fenómeno ocasiona erosión costera, aumento del nivel del mar, inundaciones temporales, aumento de la velocidad de las corrientes de deriva y diversos daños en las infraestructuras costeras, además de dificultar la navegación y las actividades turísticas (González y Muñoz, 1999; Castelle *et al.*, 2015; Rashidi *et al.*, 2021; Da Silva *et al.*, 2022).

En este sentido, la costa Caribe de Colombia experimentó uno de estos eventos de mar de leva el 19 de noviembre y el 19 de diciembre de 2023. En referencia a noviembre, este fenómeno se formó debido al paso de una depresión tropical (centro de baja presión) que se desplazó desde el Atlántico Norte hacia la costa de Centroamérica (Figura 5), con vientos de 10 a 22 m s<sup>-1</sup> y una altura de ola significativa de 2,5 a 7 m fuera de la región Caribe. Particularmente en la costa del Magdalena, estas perturbaciones del mar se prolongaron aproximadamente desde el 19 hasta el 27 de noviembre, con ráfagas de viento de 7 a 10 m s<sup>-1</sup>, una altura de oleaje entre 1,2 y 1,7 m, y un nivel del mar de 0,9 a 1,2 m entre el mediodía y las 11 p.m. aproximadamente (Figura 6). El oleaje tuvo un mayor impacto entre el 19 y el 23 de noviembre, debido al cambio de dirección hacia el oeste y noroeste, permitiendo que las olas impactaran de frente a la zona Costera del Magdalena.

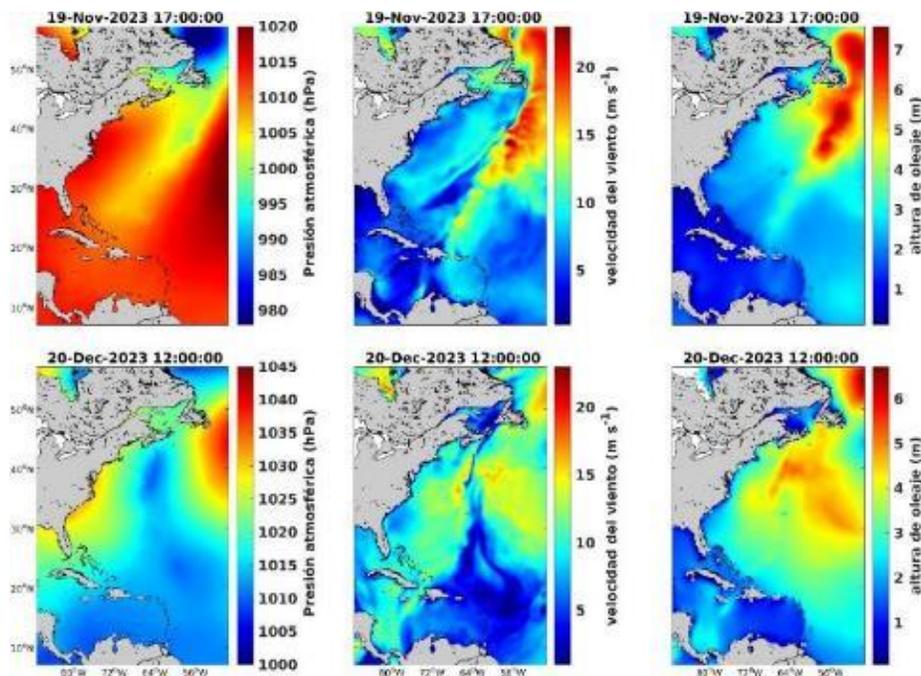


Figura 5. Comportamiento de la presión atmosférica, viento y oleaje, para los eventos de mar de leva de noviembre y diciembre de 2023. Fuente: Datos tomados del portal Copernicus reanálisis ERA-5 y procesados por INVEMAR 2024. Se escogieron los días 1

Por otro lado, el evento de diciembre fue el resultado de la interacción entre dos centros de baja y alta presión en el Caribe y el Atlántico Norte (Figura 5). Durante este período, los vientos oscilaron entre 12 y 16  $\text{m s}^{-1}$ , con una altura de oleaje de 3 a 6 m fuera de la región del Caribe. En la costa del Magdalena, se registraron vientos de 4 a 7  $\text{m s}^{-1}$ , una altura de olas de 1,5 a 1,9 metros y un nivel del mar que varió entre 0,7 y 1,1 m (Figura 6). Este patrón meteorológico y oceanográfico se mantuvo desde el 19 hasta el 29 de diciembre, siendo más intenso entre las horas del mediodía y la noche.

El clima marítimo de la zona costera del Magdalena es posible que se vea influenciado con mayor frecuencia por eventos de mar de leva, ocasionados por frentes fríos, depresiones tropicales y actividad ciclónica. Se anticipa que estos fenómenos extremos ocurran con mayor periodicidad e intensidad en la cuenca del mar Caribe como resultado del cambio climático y variabilidad climática, tal como lo señaló en 2019 el Panel Intergubernamental Sobre el Cambio Climático (en inglés; IPCC) (Pörtner *et al.*, 2019; Lemos *et al.*, 2021; Soanes *et al.*, 2023).

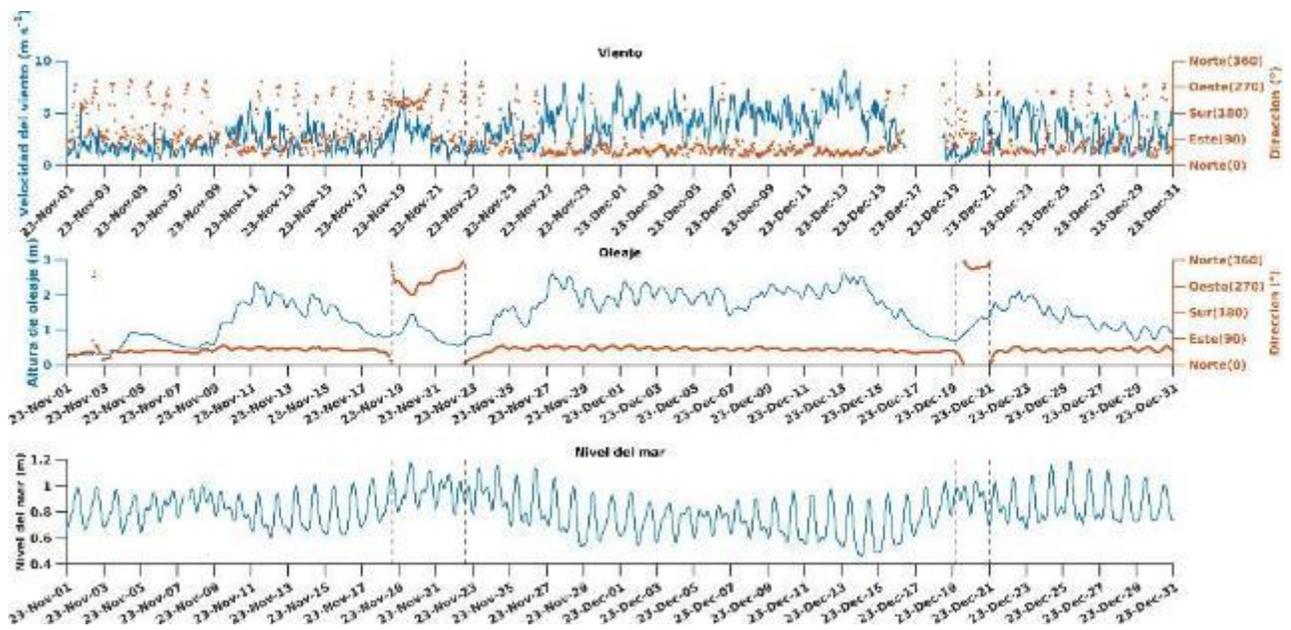


Figura 6. Comportamiento del viento (velocidad-azul y dirección-naranja), oleaje (velocidad-azul y dirección-Naranja) y nivel del mar, para el mes de noviembre y diciembre de 2023. Las líneas punteadas en negro indican el periodo de mar de leva de may

### Cambios en la evapotranspiración en la cuenca del Río Fundación (Magdalena) asociados a la evolución de la cobertura del suelo.

La evapotranspiración (ET) se conoce como la suma de la tasa de evaporación del agua presente en el suelo y la transpiración de las plantas, esta variable es usada en el campo de la hidrología para la para la estimación del balance hídrico de las cuencas hidrográficas (Muñera *et al.*, 2003), es decir, se calcula para un periodo de tiempo la pérdida o ganancia de agua, que pueden tener las áreas que drenan aguas a un río. Para esta estimación, se tienen en cuenta múltiples variables como el tipo de vegetación, características del suelo y parámetros ambientales, que participan en los procesos de ET (Allen *et al.*, 1998).

Entender el comportamiento espacial y temporal de la ET, permite la toma de decisiones más pertinentes para el manejo de recursos agrícolas y naturales, además de contribuir en las proyecciones del cambio de ciclo hidrológico frente al cambio climático. Esto es de importancia para la gestión ambiental y territorial frente a fenómenos de variabilidad climática como El Niño y La Niña.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó la evaluación del comportamiento de la ET en cinco coberturas vegetales diferentes (campo de pastos, cultivos de palma, cultivos de banano, fragmento de bosque seco y manglar), ubicadas en la cuenca baja de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CNSM) durante dos años contrastantes bajo condiciones de La Niña y El Niño (2022 y 2023, respectivamente). Para determinar la ET en cada una de las coberturas, se realizaron mediciones diarias utilizando un evaporímetro (atmómetro) ETgage tipo A en cada cobertura, las mediciones corresponden al nivel del agua en el evaporímetro, el cual disminuye a medida que el agua se evapora. Para determinar la ET, se resta el nivel encontrado en el día siguiente, con el nivel del día para el cual se requiere encontrar la ET.

Los resultados indicaron que las coberturas de bosque, palma y manglar presentaron los mayores promedios de ET, siendo el año 2023 el que registró los mayores valores de ET. Este año se caracterizó por presentar baja precipitación y altas temperaturas causadas por el fenómeno de El Niño; entretanto en el año 2022 se registraron menores tasas de ET, posiblemente condicionado por los factores climáticos inducidos por La Niña (NOAA, 2017; IDEAM, 2024). La ET en la cobertura de banano se puede asociar al escaso recubrimiento del suelo por otro tipo de vegetación, característico en este tipo de monocultivos; donde se presenta una mayor exposición del suelo a los factores que contribuyen a la evaporación (Figura 7).

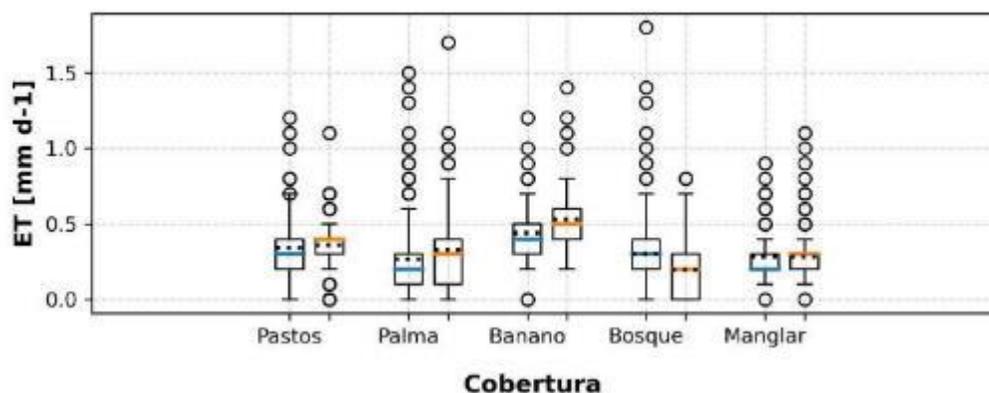


Figura 7. Diagrama de cajas de la evapotranspiración entre las coberturas vegetales para el 2022 (mediana azul) y 2023 (mediana naranja). El promedio de los datos está representado por líneas discontinuas.

En ambos años, las mayores tasas de ET se registran durante el primer cuatrimestre, estando asociada a la época seca (diciembre - abril), donde se registran las mayores velocidades del viento, radiación solar y temperatura, con bajas precipitaciones (Romero-Rodríguez *et al.*, 2017), las cuales intervienen en los procesos de evaporación (Allen *et al.*, 1998). Posteriormente, se registra un menor valor en el mes de junio y los valores mínimos en el mes de octubre, el cual se relaciona al periodo de lluvias más intenso. Por otro lado, en los meses de septiembre a noviembre, predominan las condiciones de mayor precipitación, menor velocidad de viento, cobertura nubosa y, por ende,

mayor saturación de vapor de agua en el aire; lo que favorece a una menor tasa de ET en las zonas de coberturas (Allen *et al.*, 1998). (Figura 8).

Durante el periodo de lluvias (septiembre a noviembre), de 2023, se registraron valores relativamente altos en ET en el mes de septiembre, lo cual puede estar asociado a las anomalías positivas de temperatura ambiente entre los 2 a 5 °C, sobre la región costera del Magdalena cerca de la CGSM (IDEAM, 2023). Mientras que, en el año 2022, valores relativamente altos se registraron para el mes de julio, el cual corresponde al Veranillo de San Juan; periodo precedido por una baja ET, el cual puede corresponder a las anomalías negativas de temperatura (0.5-1 °C) en el sector de la CGSM por aumentos en la precipitación (IDEAM, 2022).

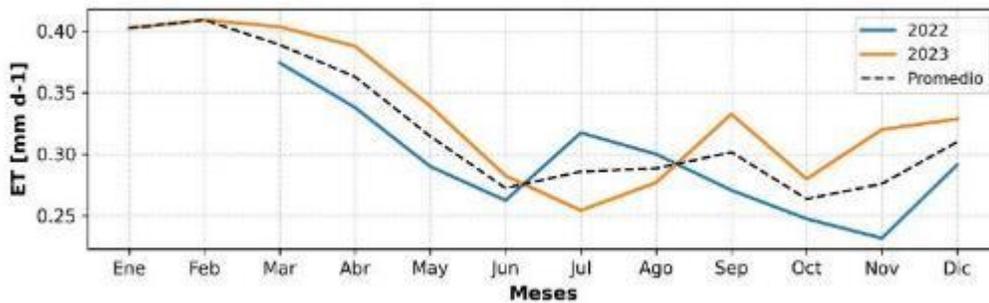


Figura 8. Promedio de evapotranspiración mensual de todas las coberturas vegetales para el 2022 y 2023.

Al realizar la comparación entre los dos años analizados (2022-2023), los valores de ET del año 2023 fueron mayores a lo registrado en el año 2022. Esto se debe a que las condiciones climatológicas del año 2023 (El Niño) (IDEAM, 2022-2023) contribuyeron a una mayor ET (Pandey *at al.*, 2016; Nandagiri and Kovoov, 2006).

En conclusión, los fenómenos de variabilidad climática como el ENSO influyen sobre la ET, debido a que son procesos de gran escala que modulan las condiciones ambientales, determinando cambios en la temperatura ambiente, radiación y vientos. Como consecuencia, también incide en la variabilidad de la ET en cada cobertura vegetal.

### Estado superficial y subterráneo en las cuencas de los ríos Aracataca y Fundación del recurso hídrico

Para caracterizar los tensores asociados a la oferta y la demanda del recurso hídrico, y cuantificar sus cambios y pérdidas en los procesos productivos que ocurren al interior de las cuencas de los ríos Aracataca y Fundación; se realizaron múltiples espacios de participación ciudadana en varias localidades de estas cuencas, para conocer los problemas de los actores de la comunidad y del sector productivo en su día a día con relación al agua.

Para alcanzar los objetivos planteados, se adoptó una estrategia de participación y diálogo con seis (6) localidades que abarcaron ambas cuencas: Bocas de Aracataca, cabecera municipal de Cerro Azul, cabecera municipal de Fundación, vereda Sacramento y cabecera municipal del Retén. En este ejercicio se fomentó a que los participantes asumieran un papel activo, crítico y reflexivo frente al entorno en el que cada uno vive en su cotidianidad. Se obtuvo una participación global de 192

personas en representación de distintos gremios productores, entidades públicas, delegados de juntas de acción comunal y comunidad en general que aportaron a la priorización de los principales tensores que amenazan la integridad del recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo en el área de estudio y con ello plantear una serie de indicadores basados en datos cuantificables que permitan realizar un diagnóstico de la situación actual y diseñar un programa de monitoreo en el tiempo.

Se adoptó la metodología “Drivers, Pressures, State, Impact and Response” conocida por sus siglas “DPSIR” para construir un marco causal que explica cadena de eventos que tiene origen en las fuerzas motrices. Cada fuerza motriz tiene asociada una presión, un estado, un impacto y una posible respuesta para mitigarlo.

Las principales actividades o fuerzas motrices precursoras de las presiones identificadas como amenazas a la integridad del recurso hídrico en las cuencas de los ríos Fundación y Aracataca son la agricultura, ganadería, crecimiento demográfico, acuicultura y en menor escala la minería. En la Figura 9 se sintetiza la situación del área de estudio a partir de priorizar los tensores en los distintos sectores analizados. Esto permite llevar una trazabilidad de los tensores identificados al tiempo que contribuye a la formulación sistemática de soluciones para abordarlos.



Figura 9. Marco causal para evaluar el origen de las presiones sobre el recurso hídrico en las cuencas de los ríos Aracataca y Fundación. Construido bajo los lineamientos del modelo “Drivers, Pressures, State, Impact and Response” conocido por sus siglas.

Este insumo fue indispensable para avanzar hacia la fase de diseño de los indicadores que permitirán la cuantificación de los impactos sobre el recurso hídrico y la eficacia de las medidas que eventualmente se lleguen a ejecutar como medidas correctivas.

### Estado de los sectores críticos por erosión costera en el departamento del Magdalena

La investigación sobre los cambios geomorfológicos en las playas arenosas del departamento del Magdalena ha generado un interés creciente en los últimos años. El interés se ha intensificado debido a las problemáticas que surgen en diversos ámbitos, como el deterioro de la infraestructura, la transformación del paisaje y los impactos en los ecosistemas costeros. El propósito del levantamiento de información es generar conocimiento científico que permita evaluar el estado y la intensidad de los procesos de acumulación o erosión en el litoral, con el fin de facilitar la toma de decisiones informadas. Desde 2015, se ha venido realizando el monitoreo trimestral de las condiciones en las playas, la línea de costa y el registro sedimentario en cinco estaciones entre la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) y la bahía de Santa Marta ( Figura 10).



Figura 10. Mapa de estaciones de monitoreo de erosión costera en el departamento del Magdalena.

**Boca de la Barra**

La estación de monitoreo está en el sector conocido como Isla del Rosario, en el kilómetro 55 de la vía Barranquilla–Ciénaga. El comportamiento histórico del perfil topográfico revela dos periodos significativos, 2015-2018 y 2019-2023 (Figura 11).

Entre 2015-2018, se evidenció la formación de bermas definidas, con elevaciones que alcanzaron aproximadamente 1,5 m. Además, en la zona de playa sumergida, se desarrollaron barras longitudinales con crestas embrionarias. A partir del periodo 2019-2023, el perfil experimentó cambios asociados a la pérdida de elevación (-0,5 m) y un aumento de la pendiente desde el frente de playa. Estos cambios indican que desde 2019 la playa experimenta una tendencia erosiva continua, marcada por una reducción en el ancho y el volumen de sedimento en el perfil sumergido, lo que afecta su capacidad de recuperación.

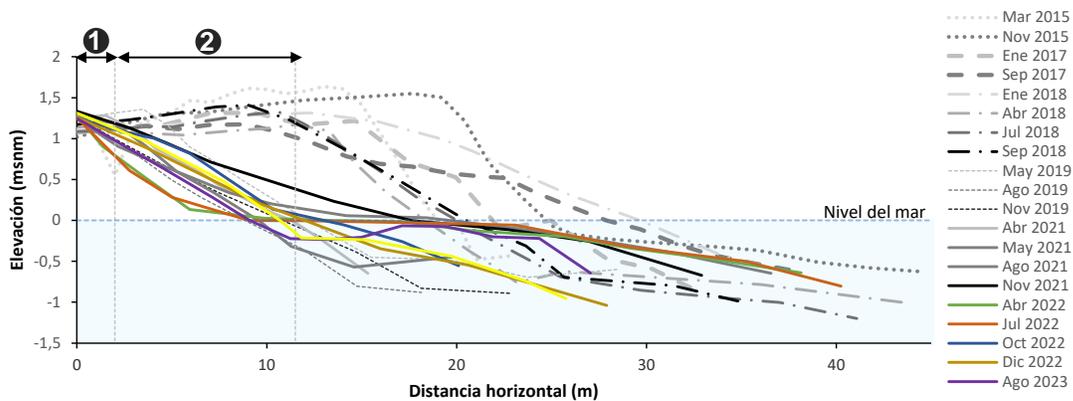


Figura 11. Perfil topográfico de la zona costera en la estación de Boca de la Barra identificando la playa trasera (1) y frente de playa (2). El polígono azul corresponde a la zona sumergida del perfil.

**Costa Verde**

En esta playa, el perfil topográfico ha demostrado una notable estabilidad (Figura 12), las variaciones identificadas se atribuyen a las fluctuaciones en temporadas climáticas. En los levantamientos realizados en agosto y noviembre de 2023, se destaca una disminución evidente en el ancho de la playa y un transporte de sedimento en la zona sumergida o inframaréa en comparación con el año anterior (2022). Es crucial destacar que, aunque se observaron cambios en la geometría del perfil, la causa de estas modificaciones podría estar vinculada a los patrones del clima característicos de la región.

**Ciénaga**

El perfil topográfico experimentó un cambio drástico en 2022 debido a la construcción de obras de protección costera cerca del perfil, lo cual alteró la configuración natural de la playa. En mayo y noviembre de 2021, se observaron escarpes erosivos en el perfil. Sin embargo, en julio y diciembre de 2022, después de la construcción de espolones, estos escarpes desaparecieron y se formó una zona intermareal de baja pendiente, generando un perfil con una tendencia disipativa.

En las condiciones recientes, agosto y noviembre de 2023, se observó la recuperación del perfil costero, evidenciando una expansión de hasta 30 metros en la playa trasera en comparación con los perfiles históricos (Figura 13).

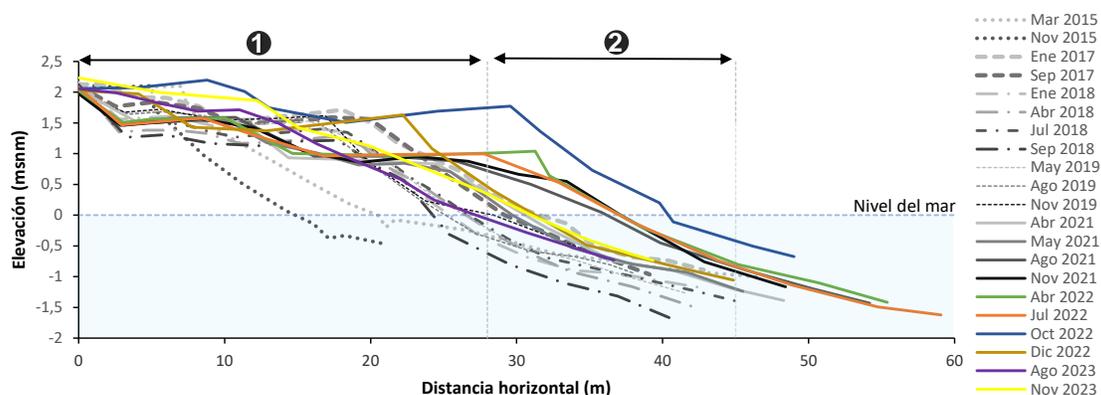


Figura 12. Perfil topográfico de la zona costera en la estación de Costa Verde identificando la playa trasera (1) y frente de playa (2). El polígono azul corresponde a la zona sumergida del perfil.

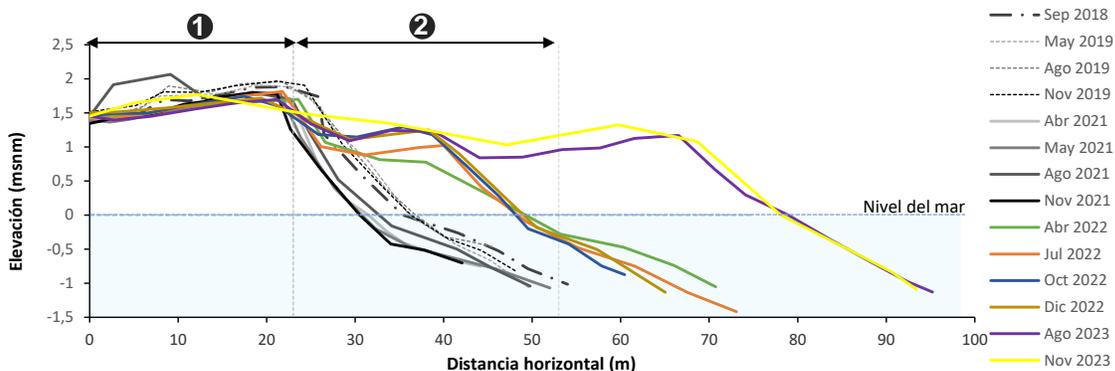


Figura 13. Perfil topográfico de la zona costera en la estación de Ciénaga identificando la playa trasera (1) y frente de playa (2). El polígono azul corresponde a la zona sumergida del perfil.

**Los Cocos**

Los perfiles topográficos han reflejado la estabilidad de la playa, manifestándose a través del desarrollo de superficies cóncavas en el frente de playa, asociadas a la formación de bermas. En la zona sumergida, se identificó un perfil ligeramente convexo con baja pendiente, a excepción del perfil correspondiente a enero de 2018. En dicho perfil, se registró un avance de la línea de costa hacia el mar, resultando en una extensión de la playa trasera, como se ilustra en la Figura 14.

En los levantamientos de 2023, la playa sigue demostrando una tendencia a mantenerse estable. Por lo tanto, no se evidencian rasgos erosivos que indiquen una tendencia a la pérdida. Este comportamiento reafirma la estabilidad general del perfil topográfico a lo largo del tiempo.

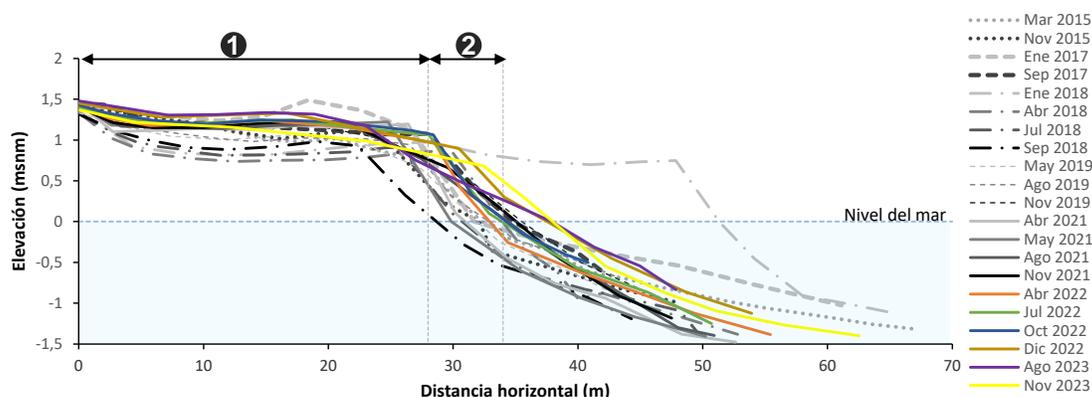


Figura 14. Perfil topográfico de la zona costera en la estación de Los Cocos identificando la playa trasera (1) y frente de playa (2). El polígono azul corresponde a la zona sumergida del perfil.

**Salguero**

La dinámica de los perfiles de playa muestra procesos erosivos severos, evidenciados por la reducción de la amplitud y un aumento en la pendiente, generando perfiles con tendencia reflejante (Figura 15a). Durante 2023, se construyó un espolón como medida de protección costera en el área del perfil, lo que conllevó a desplazar el punto de referencia hacia el sur, aproximadamente 20 metros. En agosto, se observaron características erosivas coherentes con la dinámica histórica. Sin embargo, en noviembre, se registró un incremento en la elevación y amplitud del perfil, debido a la retención de sedimentos causada por la estructura en el borde sur y a un relleno con material externo (Figura 15b).

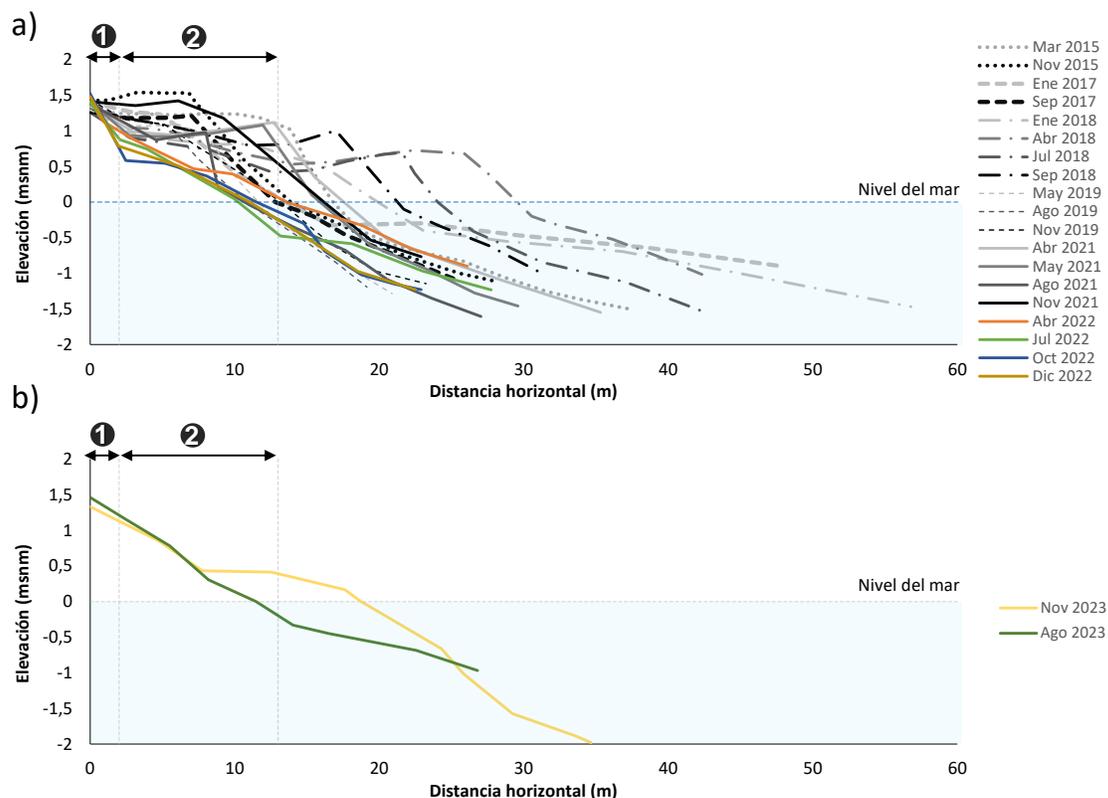


Figura 15. Perfiles topográficos en la zona costera en la estación de Salguero, identificando la playa trasera (1) y frente de playa (2). Perfiles del punto de control histórico (a) y en el punto de control desplazado (b). El polígono azul corresponde zona azul sumergida

1. Indicador de áreas perdidas y ganadas por cambios en la línea de costa.
<p align="center"><b>Definición e importancia del indicador</b></p> <p>Es una medida de los procesos de erosión y acreción en Playa Salguero, la información se presenta de dos formas: 1. Los cambios de la línea de costa, 2. Variación mensual del volumen de la playa. Este indicador contribuye al conocimiento de los procesos causantes de la erosión costera, la identificación de sectores mayormente afectados y la formulación de medidas de intervención que mejor se adapten a las condiciones ambientales de este sector del departamento del Magdalena. Los valores son expresados en unidades de m/año.</p> <p>La tasa de regresión lineal (LRR) es un resultado que muestra para cada transecto medido, la tendencia general de los cambios de la línea de costa, asociados a erosión/acreción y se expresa en unidades de m/año. En cuanto, a la variación del volumen de sedimentos estos se obtienen a partir de modelos digitales de terreno de la playa, y los valores son expresados en unidades de m<sup>3</sup>.</p>
<p align="center"><b>Fuente de los datos e información</b></p> <p>La fuente de datos corresponde a mediciones en terreno mediante tecnología GNSS</p>
<p align="center"><b>Periodo reportado</b></p> <p>Para el sector de Playa Salguero el periodo de análisis es 2017 - 2023.</p>
<p align="center"><b>Interpretación de los resultados</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> <p><b>Cambios de la línea de costa</b></p> <p>En Playa Salguero la erosión costera mantiene una tendencia a mayor afectación en la zona centro y sur entre el espolón de la calle 23 frente al Edificio Playa Linda y el cerro Punta Gloria. El análisis de las series históricas de los últimos 6 años muestra que el fenómeno impacta el 70% de la extensión de la línea de costa, mientras que la acreción está asociada al área adyacente a la desembocadura del río Gaira. Los cambios asociados a la erosión costera alcanzaron máximos de hasta -3.0 m/año y un valor promedio de -1.6 m/año (Figura 16). Un caso particular se presentó en agosto de 2023, con la construcción de 2 espolones frente a la calle 26 y 29, por lo tanto, se generó una nueva configuración de la línea de costa como respuesta a la presencia de estructuras duras.</p> </li> </ul>

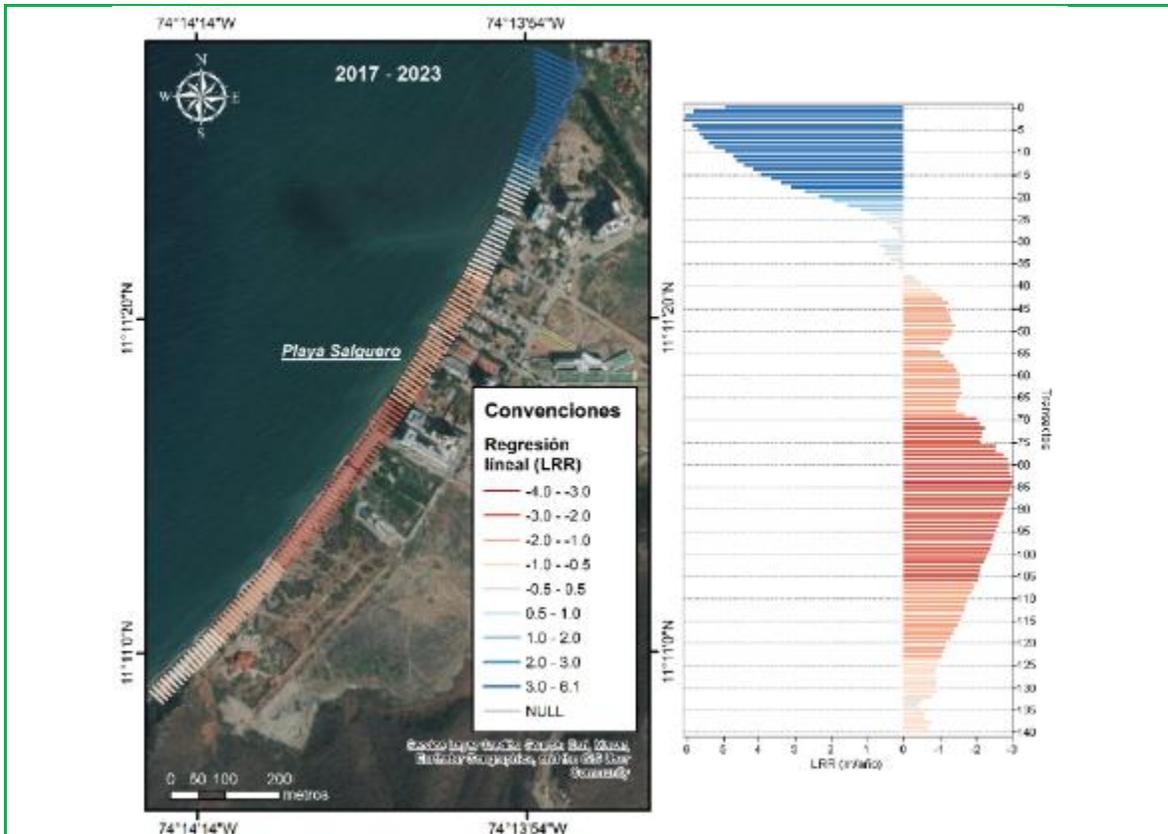
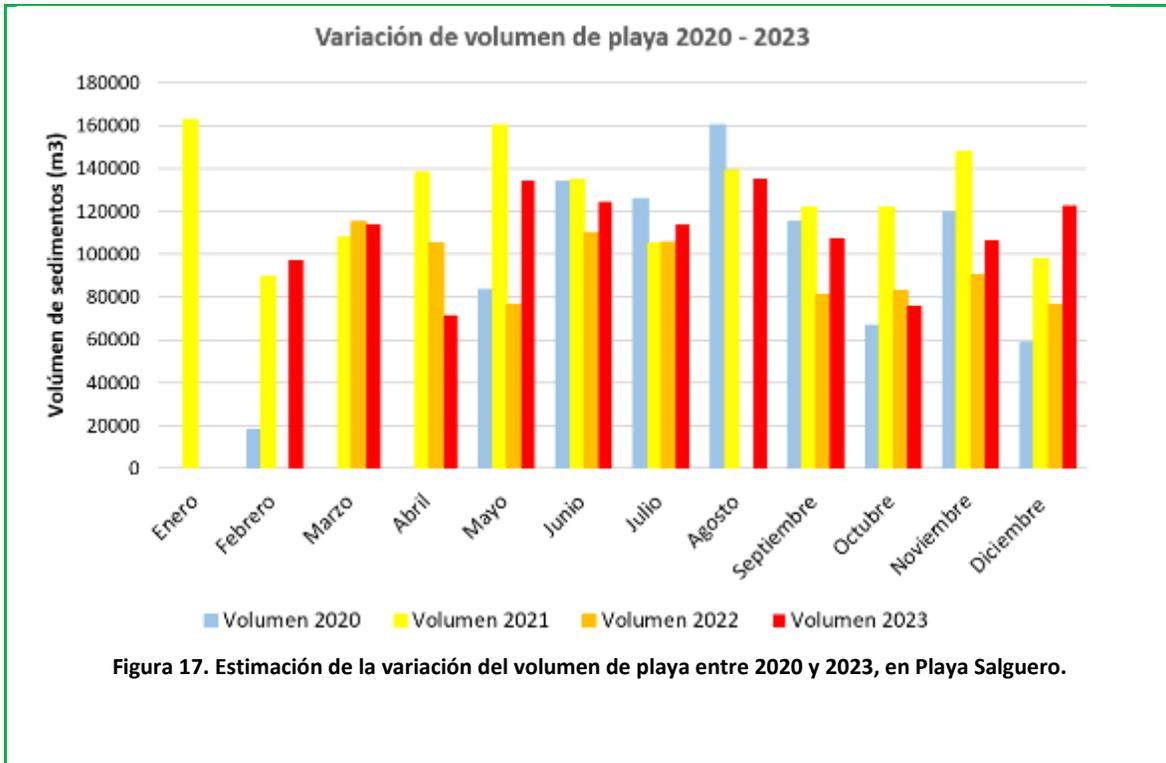


Figura 16. Tendencia general de la línea de costa entre junio 2017 y diciembre 2023 en Playa Salguero.

- Variación del volumen de playa

Por otra parte, Playa Salguero en 2020 y 2022 registró mayor variabilidad en el volumen de sedimentos, lo cual está relacionado con las condiciones morfodinámicas en cada temporada climática. El promedio del volumen anual estuvo alrededor de los 80.000 m<sup>3</sup> y 70.000 m<sup>3</sup> respectivamente. Para 2021 y 2023, en términos de volumen, la playa presentó menor variabilidad, sin embargo, mostró una tendencia a la recuperación en 2021 con un valor promedio de 127.000 m<sup>3</sup> (Figura 17). En lo concerniente al 2023 aunque la tendencia del volumen de sedimentos fue a la disminución, el promedio estuvo alrededor de los 100.000 m<sup>3</sup>. Estos cambios en el último año reportado, se asocian con factores naturales por la ocurrencia de eventos extremos (mar de fondo) y antropogénicos por la intervención de la zona con obras costeras.

Otros rasgos del estado actual de la playa, son escarpes erosivos, baja pendiente del frente de playa y erosión vertical, la cual es indicativa de la pérdida del sedimento de manera natural.



### La erosión costera en el departamento de Córdoba (Caribe)

Desde 2014, la colaboración entre INVEMAR y la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS) ha centrado sus esfuerzos en abordar la erosión costera en el departamento de Córdoba. El fenómeno, influenciado por corrientes de deriva litoral y variaciones en los aportes de sedimentos, se ha analizado para comprender su dinámica. A través de este trabajo conjunto, se ha logrado construir una base de datos históricos que facilita la identificación de las zonas críticas. Además, se han desarrollado estrategias de mitigación que incluyen la capacitación en temas ambientales y la realización de evaluaciones de vulnerabilidad social y de ecosistemas frente a la erosión costera. Estas acciones están diseñadas para enfrentar los desafíos de la erosión costera, en el departamento, contribuyendo así a la sostenibilidad y preservación de la zona costera.

En el año 2023, los esfuerzos de monitoreo se centraron en estudiar las variaciones de la línea de costa en once (11) localidades específicas (Figura 18), empleando una metodología que combina la participación comunitaria en la identificación de medidas de control y el uso de tecnologías de Sistema de Navegación Global por Satélite (GNSS) y tecnologías de información geográfica, permitiendo medir con precisión los procesos de erosión costera, además de entender y valorar las estrategias de mitigación propuestas por las comunidades locales. Este compromiso continuo de CVS e INVEMAR refleja una estrategia integral para proteger y conservar las costas de Córdoba.



Figura 18. Mapa de procesos de erosión (colores rojos) y acreción (colores azules) identificados en cercanías a la desembocadura del río Sinú entre 1985 y 2022, usando DSAS.

El monitoreo de la erosión costera en Córdoba durante las épocas seca y húmeda de 2023 reveló una persistente erosión, amenazando infraestructuras y medios de vida. Se destacaron retrocesos en Playa Blanca, Santander de la Cruz, Puerto Rey, y La Rada, con Puerto Rey y Santander de la Cruz experimentando retrocesos de más de -114,20 m y -26,73 m en ocho años, respectivamente. Este panorama indica la urgencia de implementar medidas frente a la erosión costera.

La erosión costera se atribuye a factores naturales y antrópicos, incluyendo el manejo inadecuado de las zonas costeras y la implementación desorganizada de medidas de mitigación, se ha impulsado la adopción de soluciones adaptadas a las necesidades específicas de cada localidad, como la restauración de manglares, alimentación de playas y estabilización de taludes. Por otra parte, la estrategia local ha sido particularmente enfocada en obras duras en áreas como Puerto Rey y Los Córdobas debido a su severa erosión, se ha realizado por particulares y en pocas ocasiones con la colaboración de actores locales y municipales el desarrollo de intervenciones específicas como la restauración de rompeolas y la protección de taludes. Este enfoque integrado y adaptativo muestra la importancia de una gestión coordinada y sostenible para preservar la integridad de las zonas costeras y asegurar el bienestar de las comunidades locales.

### Sectores críticos por erosión costera del Valle del Cauca

La investigación en el litoral Pacífico se enfocó en la identificación de cambios espacio-temporales de la morfodinámica costera en tres localidades en la Bahía de Buenaventura, y la incidencia de la variabilidad de los factores océano-atmosféricos con el objetivo de identificar los agentes y procesos dominantes que influyen en playas de régimen macro mareal en el Pacífico tropical. Para este propósito, se realizaron monitoreos mensuales de la posición de la línea de costa. Así mismo, la medición de condiciones de oleaje durante épocas climáticas contrastantes (marzo y octubre).

Las playas de interés están en la zona de ingreso a la bahía de Buenaventura (puerto marítimo comercial). Esta región es caracterizada por una altura del oleaje ( $H_s$ ) varía de 0,5 a 1,5 metros en periodos de calma y alcanza entre 2,5 y 3,5 metros durante vientos fuertes (Ardila-Martínez *et al.*, 2005). La velocidad del viento en estos episodios oscila entre 2,3 y 3,7 m/s (media mensual), predominantemente del noreste (Thomas *et al.*, 2014), y el periodo medio de las olas varía entre 7 y 9 segundos (Thomas *et al.*, 2014). La marea es principalmente del tipo semidiurna, con una amplitud macromareal media de aproximadamente 4,5 m en marea viva (Correa y Morton, 2010).

Los cambios en la línea de costa en los extremos de la bahía de Buenaventura fluctúan tanto en espacio como en tiempo (Figura 19). Esto sugiere que, aunque están influenciados por procesos a gran escala, también ocurren procesos locales que brindan a cada playa condiciones morfológicas e hidrodinámicas especiales.

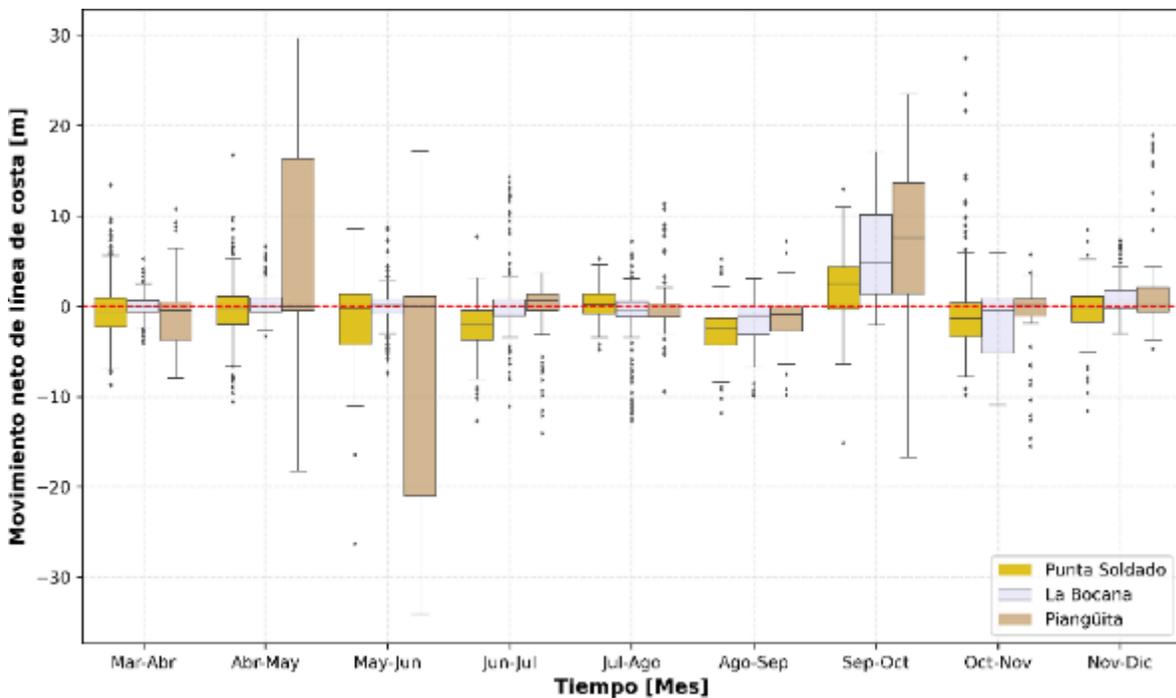


Figura 19. Distribución mensual del movimiento de línea de costa durante 2023 en las localidades con monitoreo de erosión costera en el Pacífico colombiano. La línea roja punteada indica el límite entre los desplazamientos positivos y negativos de la línea de costa

#### **Punta Soldado**

En cuanto al oleaje, se observa una dirección predominante desde el oeste, lo cual se atribuye a la ubicación de la zona en la bahía. El análisis estadístico de las líneas de costa durante el año 2023 indicó que el 83,85 % de la línea de costa experimentó procesos erosivos, mientras que el 16,15 % experimentó acumulación. El movimiento de línea de costa osciló entre 26,37 metros y -33,72 metros, con un promedio neto negativo de -5,59 metros (Figura 20). A nivel mensual, se registró un retroceso de la línea de costa durante los meses de mayo y junio, mientras que entre septiembre y noviembre se observaron ganancias en la posición de la línea de costa. Estos patrones coinciden con el comportamiento promedio de las precipitaciones locales.

#### **La Bocana**

El oleaje predominante en el sector de La Bocana y Piangüita mantuvo una dirección suroeste durante todo el año, con un aumento en la altura de las olas durante el segundo semestre del año. La tasa de cambio de línea de costa promedio fue de 4,01 m/año, lo que indica un balance neto positivo durante 2023, con el 89,45 % de la costa registrando tendencia hacia la acumulación (Figura 21). El desplazamiento neto fue de 2,72 m, con variaciones entre -1,66 m y 7,44 m. El análisis mensual señaló que durante los meses de agosto a noviembre se observa la mayor variabilidad en el movimiento de la línea de costa. Además, se notó que la línea de costa presentó un comportamiento similar durante el primer semestre del año, con una mediana alrededor de 0, lo que indica estabilidad en la posición de la línea.

#### **Piangüita**

La tasa de cambio promedio fue de 3,66 metros por año, revelando que el 65,71% de los transectos experimentaron acumulación, mientras que el 34,29% mostraron una tendencia erosiva. Los movimientos oscilaron entre -23,08 y 26,74 metros, con un promedio de 4,93 metros. En relación con el análisis mensual (Figura 21), se observó el máximo desplazamiento positivo entre abril y mayo, mientras que entre mayo y junio se presentó el máximo desplazamiento negativo. Sin embargo, a pesar de la variación en la distribución del comportamiento de la línea de costa, la mediana para ambos meses es igual. Además, al igual que ocurrió con Punta Soldado y La Bocana, durante el período de septiembre a octubre predominaron los desplazamientos positivos, lo que indica acumulación.

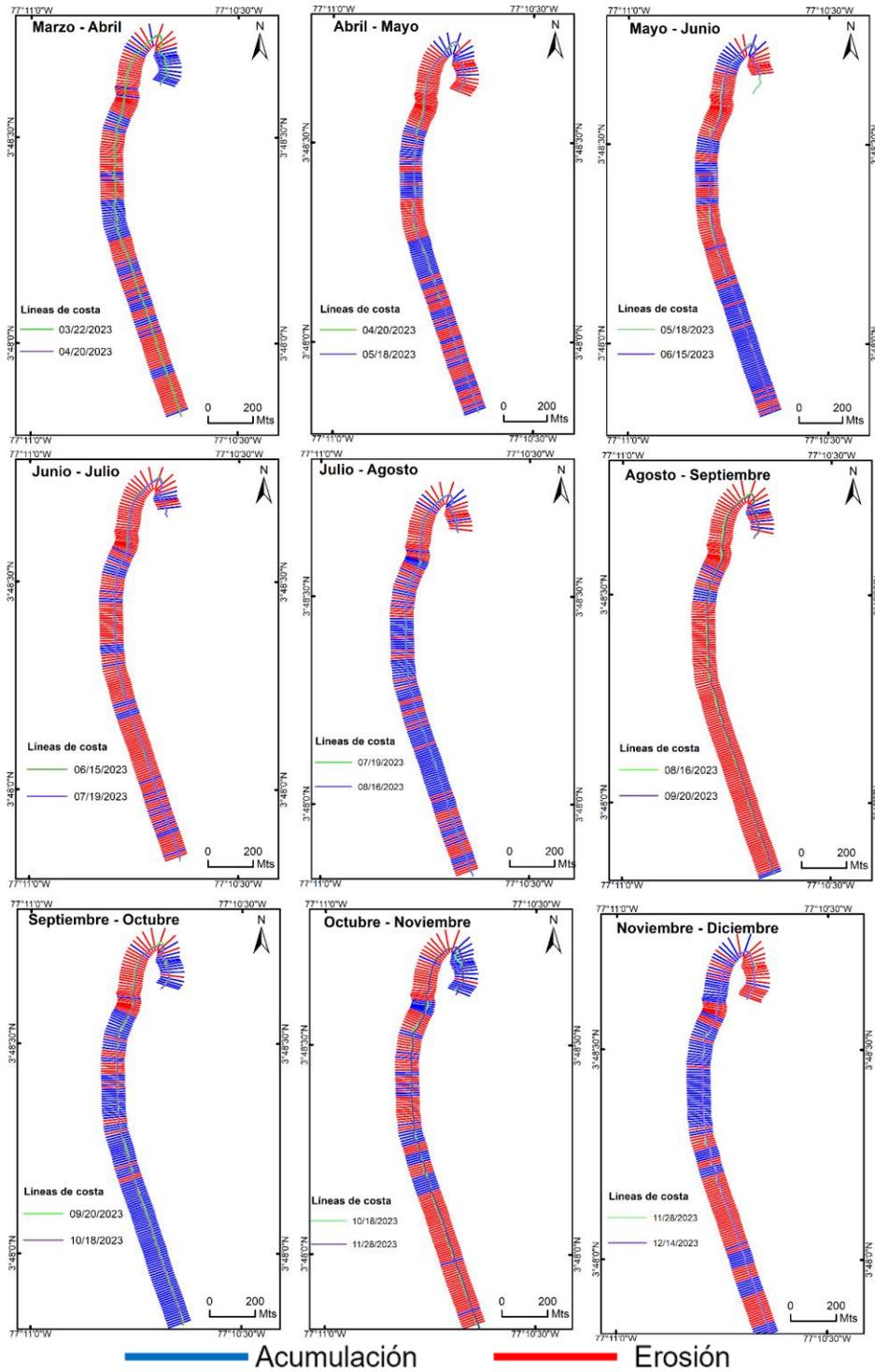


Figura 20. Patrones espacio-temporales de acumulación y erosión de acuerdo a la estimación de la tasa de punto final durante 2023 en Punta Soldado.

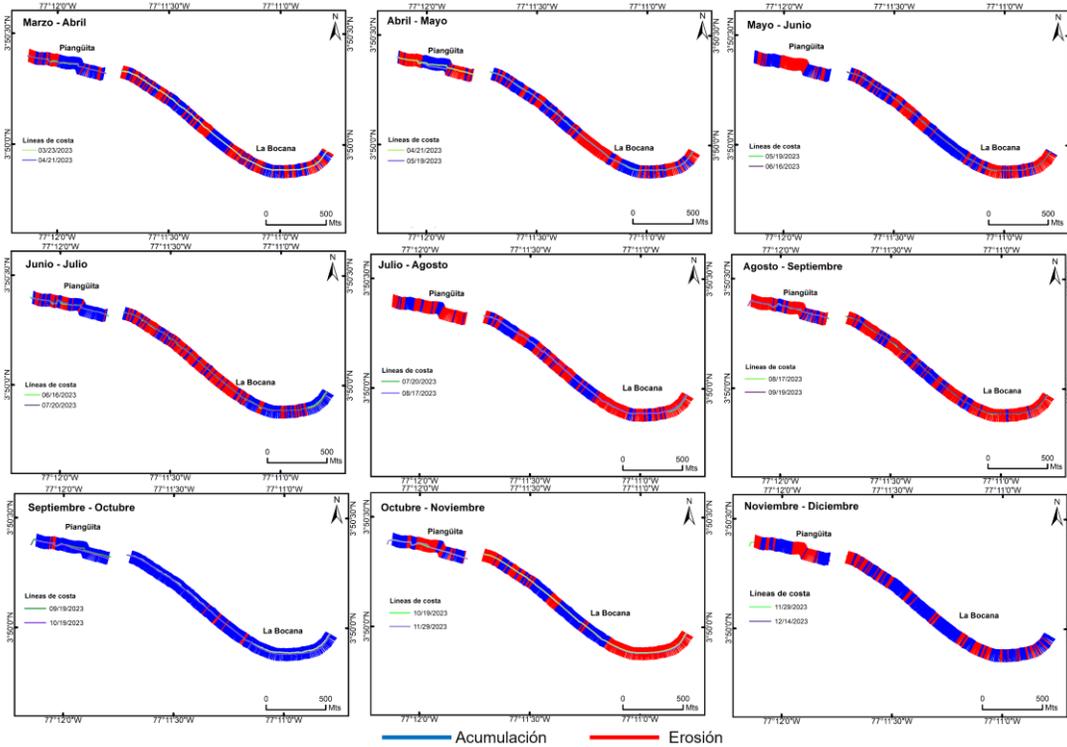


Figura 21. Patrones espacio-temporales de acumulación y erosión de acuerdo a la estimación de la tasa de punto final durante 2023 en La Bocana y Pianguita.

### Monitoreo de la erosión costera y las Medidas de Adaptación basada en Ecosistemas (MAbE) para mitigación de la erosión costera

Las Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) engloban acciones para proteger, restaurar y gestionar ecosistemas, brindando beneficios a la humanidad y la biodiversidad frente a desafíos como cambio climático, seguridad alimentaria, seguridad hídrica, pérdida de biodiversidad, entre otros (Seddon *et al.*, 2016). Las SbN abarcan diversos enfoques, dentro de los cuales se encuentra la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE), la cual emplea el uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, como parte de una estrategia general de adaptación frente a los impactos adversos del cambio climático.

Para hacer frente a los desafíos asociados a la erosión costera en el Caribe colombiano, que ha afectado cerca del 29% de las costas (Coca-Domínguez y Ricaurte-Villota, 2022), se implementaron algunas MAbE enfocadas en la restauración de manglares, la siembra de vegetación en zonas de playa y realización de acuerdos para el manejo de los ecosistemas. Estas medidas responden a necesidades como la conservación de los ecosistemas, la gestión y planificación en un marco de desarrollo sostenible, en búsqueda de reducir la vulnerabilidad del ambiente y la sociedad frente al impacto de la erosión costera. Con la identificación de 178 proyectos implementados, por diferentes organizaciones, de acuerdo con el ejercicio de cartografía social realizado en 2023, se demuestra como este tipo de medidas se abordan en los territorios que buscan adaptarse frente al cambio climático, priorizando los servicios de protección en las zonas costeras.

A nivel nacional, algunas de estas iniciativas se desarrollaron en colaboración entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (MINAMBIENTE), la Iniciativa Climática Internacional

(IKI) del Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima (BMWK), el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección al Consumidor (BMUV) y el Ministerio Federal de Asuntos Exteriores (AA), a través del Banco Alemán de Desarrollo (Kreditanstalt für Wiederaufbau - KfW). Este proyecto, denominado “Adaptación basada en ecosistemas para la protección contra la erosión costera en un clima cambiante” buscó implementar alternativas AbE en las zonas costeras bajo la jurisdicción de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Córdoba y Antioquia.

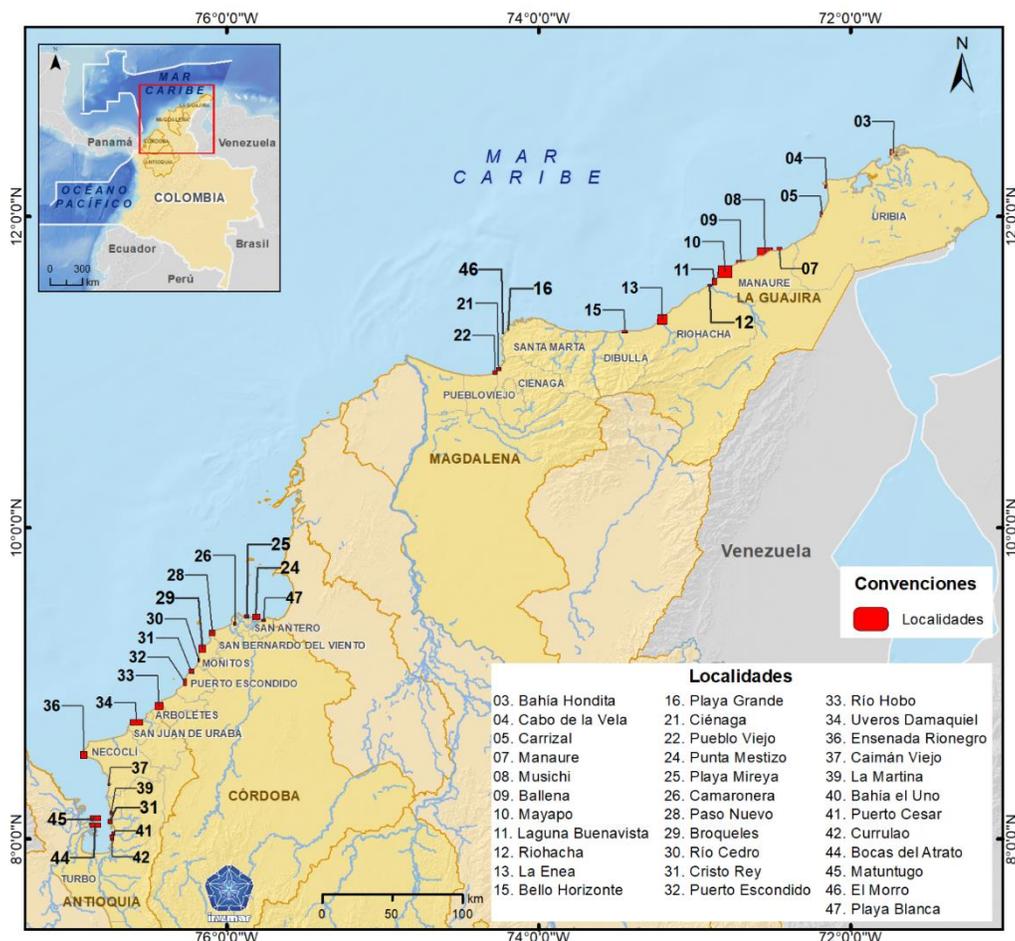


Figura 22. Localidades de monitoreo a la erosión costera y a la influencia de las alternativas AbE en su mitigación en el Caribe colombiano.

Con el objetivo de dar seguimiento al estado de línea de costa en las localidades con ecosistemas intervenidos y evaluar la efectividad de las alternativas AbE en la mitigación de los procesos erosivos en el Caribe colombiano, el INVEMAR desarrolló e implementó el Sistema de Monitoreo a la Erosión Costera y Medidas de Adaptación basadas en Ecosistemas (SMEC-MAbE). Este sistema, accesible en <https://mabe-invemar.hub.arcgis.com/> cuenta con una serie de índices e indicadores que permiten evaluar de manera cualitativa el estado de la línea de costa en términos de erosión o acreción, la incidencia del oleaje, el grado de vulnerabilidad de las comunidades ante los procesos erosivos y el estado de los ecosistemas costeros, incluyendo arrecifes de coral, pastos marinos, manglares y playas y dunas.

La implementación inicial del SMEC-MABE se realizó en 2022, estableciendo una línea base, mientras que, en 2023, se realizó un monitoreo socioambiental en los sitios prioritarios para evaluar su evolución tras las intervenciones realizadas. Este monitoreo abarcó un total de 34 localidades (Figura 22) distribuidas en los departamentos de La Guajira (11), Magdalena (4), Córdoba (9) y Antioquia (10).

Cada uno de los índices o indicadores representa una aproximación que implica una valoración cualitativa basada en operaciones matemáticas que involucran una o más variables directamente relacionadas con el desarrollo, estado o condición de los componentes evaluados. Estos indicadores proporcionan una forma práctica de comprender, interpretar y gestionar los datos asociados, y pueden servir como herramientas de apoyo para quienes toman decisiones. Es importante destacar que estos instrumentos no son estáticos, sino que sus valores de referencia evolucionan y mejoran con el tiempo a medida que se acumula un mayor volumen de datos.

Las evaluaciones detalladas proporcionaron una visión integral de la evolución de las condiciones de los ecosistemas costeros y marinos entre 2022 y 2023 y sus resultados para consulta se encuentran disponibles en el enlace mencionado. Sin embargo, es crucial seguir monitoreando y adaptando las estrategias de SbN en respuesta a las dinámicas locales y globales que afectan los ecosistemas. Este análisis continuo permitirá tomar decisiones informadas para la priorización de acciones, conservación y gestión sostenible del entorno marino-costero.

## Índice de erosión costera de Colombia - IECC

2. Índice de erosión costera de Colombia - IECC	
<b>Definición e importancia del índice</b>	
El objetivo del IECC es producir información estadística cuatrienalmente que permita el seguimiento de los cambios espacio-temporales de la línea de costa de Colombia, relacionados con la erosión y acreción costera. Este índice se presenta a nivel nacional y de manera desagregada para el Caribe, Pacífico y las áreas insulares de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.	
<b>Fuente de los datos e información</b>	
La fuente de datos principal es Google Earth Engine - GEE, una plataforma en la nube para realizar análisis científicos y visualización de datos geoespaciales. Google Earth Engine combina un catálogo con petabytes de imágenes de satélite y conjuntos de datos geoespaciales con capacidades de análisis a escala planetaria y lo pone a disposición de científicos, investigadores y desarrolladores, con el fin de detectar cambios, mapear tendencias y cuantificar diferencias en la superficie de la Tierra. Tiene disponibles imágenes de los sensores Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 y Sentinel-2, las cuales pueden variar de acuerdo con los avances tecnológicos y la disponibilidad del conjunto de datos en dichas plataformas.	
<b>Periodo reportado</b>	
2016 - 2020	
<b>Interpretación de los resultados</b>	
<p><b>NACIONAL</b></p> <p>La variación espacio - temporal de la línea de costa del país (2016-2020) muestra que, a lo largo de una extensión de 3.858 Km, se mantiene un balance entre los cambios de las tasas de erosión y de acreción, que se originan en las tres regiones Caribe, Pacífico y las áreas insulares (San Andrés, Providencia y Santa Catalina). Esta última con una importante proporción de línea de costa que ha estado estable en los últimos cuatro años. Los resultados obtenidos están mostrando un índice de Erosión Costera de 0,77 m/año. En los departamentos como Antioquia, Córdoba, Bolívar y</p>	

Magdalena (Caribe) y Chocó, Valle del Cauca y Nariño (Pacífico) se identifican datos de máxima pérdida de terreno por el retroceso de la línea de costa. Por su parte el Índice de Acreción Costera, obtuvo un valor de 0,78 m/año. Esta dinámica es observada en la proporción de línea de costa en erosión (0,47), acreción (0,43) y el resto en estabilidad (0,1), sin embargo, el Índice de Movimiento, está mostrando para el periodo analizado una tendencia negativa (-0,023 m/año) en todo el país.

#### CARIBE

La línea de costa del Caribe colombiano reportada en el IECC (2020) tiene una extensión de 2.080,4 km. En ella se han identificado sectores críticos con acelerada pérdida de terreno, por lo que se considera altamente afectada por los procesos de erosión costera (Posada y Henao, 2008; Ricaurte-Villota *et al.*, 2018). En estas zonas la erosión costera puede agudizarse con una alta exposición a fenómenos físicos, como también a actividades humanas no planificadas, p. ej. la construcción de infraestructuras costeras y la ocupación de los ecosistemas marino-costeros. Los resultados de la región Caribe (2016-2020) muestran un Índice de Erosión Costera de -0,69 m/año. Donde las magnitudes de cambio máximas se presentan en departamentos como Antioquia, Córdoba, Bolívar y Magdalena. En cuanto al Índice de Acreción Costera, se obtuvo un valor de 0,68 m/año, evidenciando un balance de la costa en términos de pérdida y ganancia de territorio costero. Esta dinámica se observa en la proporción de la línea de costa en erosión (0,49), acreción (0,44) y el resto es estabilidad (0,07), reflejando un bajo Índice de Movimiento a pesar de su tendencia negativa.

#### PACÍFICO

La mayor parte de la zona costera del Pacífico colombiano se encuentra expuesta a fenómenos físicos que modifican el estado del litoral y definen áreas que pueden llegar a ser críticas (Posada *et al.*, 2009). A lo largo de la extensión de 1.778,4 Km de línea de costa reportados en el índice de IECC (2020), se ha presentado la pérdida de terrenos asociados a depósitos de playa recientes, activos y no consolidados, que llegan a ser fácilmente afectados por los procesos de oleaje y mareas (Ricaurte-Villota *et al.*, 2018). Dentro de los resultados obtenidos en la región Pacífico (2016-2020), el Índice de Erosión Costera es de -0,88 m/año, donde los departamentos que registran mayores magnitudes de erosión son: Chocó, Valle del Cauca y Nariño. En cuanto al Índice de Acreción Costera, este registró un valor de 0,91 m/año, evidenciando que la línea de costa tiende a mantener un balance en términos de pérdida y ganancia de territorio costero. Esta dinámica se observa también en la proporción de línea de costa en erosión (0,45), acreción (0,43) y el resto en estabilidad (0,12), lo cual se refleja en un bajo Índice de Movimiento a pesar de su tendencia negativa.

#### INSULAR

La línea de costa del territorio insular reportado en el IECC es de 65 Km. Estas islas se caracterizan por acantilados y playas (Ricaurte-Villota *et al.*, 2018), su evolución se debe a la interacción de formaciones coralinas y agentes hidrodinámicos como vientos, tormentas, olas, mareas y corrientes (Posada *et al.*, 2011). Los resultados obtenidos en la región insular (2016-2020) muestran un Índice de Erosión Costera de -0,07 m/año, en el que la línea de costa ha tenido poca variación con respecto a los cambios espacio-temporales registrados en el Caribe y el Pacífico continental. Esta misma dinámica se observa en el Índice de Acreción Costera, el cual, obtuvo un valor de 0,09 m/año, indicando un balance de la costa en términos de pérdida y ganancia del territorio costero. Así mismo, se refleja en la proporción de la línea de costa en erosión (0,30) y acreción (0,30), lo que significa que gran parte de la costa está estable (0,40). Por último, en el área insular es donde únicamente se registra un Índice de Movimiento de Línea de Costa con tendencia positiva, indicando que en promedio la costa está variando espacio-temporalmente por acreción en 0,006 m/año.

En la Tabla 4, se presentan los resultados del Índice de Erosión Costera de Colombia IECC:

Tabla 4. Resultado índice de erosión costera nacional y por regiones.

ÍNDICE	RESULTADOS DEL IECC			
	NACIONAL	CARIBE	PACÍFICO	INSULAR
Índice de Movimiento de Línea de Costa (m/año)	-0.02	-0.04	-0.01	0.01
Índice de Erosión (m/año)	-0.77	-0.69	-0.88	-0.07
Índice de Acreción (m/año)	0.78	0.68	0.91	0.09
Proporción de Costa que presenta Erosión	0.47	0.49	0.45	0.30
Proporción de Costa que presenta Acreción	0.43	0.44	0.43	0.30

## ESTADO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO MARINO Y COSTERO EN EL CARIBE Y PACÍFICO COLOMBIANOS

### Índice de calidad de aguas marinas y costeras – ICAM

El agua es un recurso vital y eje transversal para el desarrollo de los ecosistemas y de la población que habitan las zonas costeras en Colombia. El enfoque del ordenamiento del territorio alrededor del agua pone de manifiesto la relevancia que tiene este recurso y la necesidad de comprender los territorios en todas sus dimensiones, donde se deben armonizar las actividades productivas, el uso del suelo y la interacción con el entorno, lo cual implica la protección ambiental de los recursos naturales, considerando las presiones por degradación ambiental y contaminación a las que están sometidos (DNP, 2022). La calidad del agua es uno de los aspectos que más se ve afectado por los estresores y diferentes residuos contaminantes que alteran los ecosistemas afectando los bienes y servicios ecosistémicos que proporcionan (INVEMAR y MinAmbiente, 2019a).

Con el objetivo de proveer información estadística anual sobre el estado del recurso hídrico marino y costero, se estimó el índice de calidad de aguas marinas y costeras - ICAM en sitios del Caribe y Pacífico colombianos, donde fue factible registrar datos de las características fisicoquímicas y microbiológicas (Vivas-Aguas et al., 2022a), siguiendo los lineamientos de calidad del proceso estadístico bajo la norma técnica NTC PE 1000:2020, como operación estadística oficial certificada por el DANE. Los datos se obtuvieron del programa nacional de monitoreo de la “Red de vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia – REDCAM, en los muestreos realizados en el año 2022, financiados por el BPIN Operaciones Estadísticas y el BPIN Misional (Resolución 023 de 2022), además, de los acuerdos de cooperación técnica enmarcados en la REDCAM con algunas de las Corporaciones con injerencia costera.

### 3. Índice de calidad aguas marinas y costeras – ICAM

#### Definición e importancia del indicador

El índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM) es un indicador de estado que facilita la interpretación de las condiciones naturales y el impacto antropogénico de las actividades humanas sobre el recurso hídrico marino, incorporando en su estructura el cálculo de variables de calidad del agua marino-costera orientado a fines de preservación de la flora y fauna (Vivas-Aguas, 2011; Castillo-Viana et al., 2022).

El ICAM se puede aplicar para aguas marinas y estuarinas, para lo cual se han definido las variables de acuerdo con el tipo de agua (Tabla 5), las cuales representan según sus valores de aceptación o rechazo una calidad o condición del agua en función de los criterios de calidad nacionales o de valores de referencia internacionales para la preservación de la flora y fauna (Vivas-Aguas, 2011; Vivas-Aguas et al., 2022a).

**Tabla 5. Variables para el cálculo del ICAM de acuerdo al tipo de agua**

Agua Marina	Agua Estuarina
1. Oxígeno Disuelto (OD)	1. Oxígeno Disuelto (OD)
2. pH	2. pH
3. Nitratos (NO <sub>3</sub> )	3. Nitratos (NO <sub>3</sub> )
4. Ortofosfatos (PO <sub>4</sub> )	4. Ortofosfatos (PO <sub>4</sub> )
5. Sólidos Suspendidos (SST)	5. Sólidos Suspendidos (SST)
6. Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO)	6. Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO)
7. Coliformes Termotolerantes (CTE)	7. Coliformes Termotolerantes (CTE)
8. Hidrocarburos Del Petróleo Disueltos Y Dispersos Equivalentes de Criseno (HPDD)	8. Clorofila A (CLA)

3. Índice de calidad aguas marinas y costeras – ICAM

**Fórmula de cálculo**

Para calcular el ICAM, se aplican las curvas de calidad a las mediciones de cada variable para obtener los subíndices que arrojan un valor adimensional y que se integran a través de la siguiente ecuación de agregación:

$$ICAM = \left( \prod_{j=1}^m x_j^{w_j} \right)^{\frac{1}{\sum_{j=1}^m w_j}} \text{ Ecuación 1}$$

**Donde,**

$j$  = subíndice asociado a las variables consideradas para el cálculo del ICAM, que toma valores entre 1 y  $m$

$m$  = cantidad de variables

$x_j$  = valor del indicador (subíndice de calidad) de cada variable  $j$

$w_j$  = factor de ponderación (peso) de la variable  $j$

$$\left[ (X_{OD})^{0.16} x (X_{pH})^{0.12} x (X_{SST})^{0.13} x (X_{DBO})^{0.13} x (X_{CTE})^{0.14} x (X_{HPDD})^{0.12} x (X_{NO3})^{0.09} x (X_{PO4})^{0.13} \right]^{\frac{1}{\sum_{j=1}^m w_j}}$$

**Nota:** Si bien la estimación del ICAM incluye ocho variables, se puede aplicar con un mínimo de seis variables, siguiendo el mismo procedimiento de cálculo. Información adicional sobre el proceso metodológico para el cálculo se pueden observar en la ficha metodología y el documento metodológico del ICAM (<https://icam-invemar.opendata.arcgis.com/>).

El resultado del ICAM se interpreta a través de una escala de valoración de cinco categorías de calidad definidas entre 0 y 100 (Tabla 6) las cuales representan el estado de un cuerpo de agua y su aptitud para la preservación de flora y fauna marina.

**Tabla 6. Escala de valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras – ICAM. Fuente: Vivas-Aguas, 2011.**

Categorías	Escala de calidad	Descripción
Óptima	100-90	Calidad excelente del agua
Adecuada	90-70	Agua con buenas condiciones para la vida acuática
Aceptable	70-50	Agua que conserva buenas condiciones y pocas restricciones de uso
Inadecuada	50-25	Agua que presenta muchas restricciones de uso
Pésima	25-0	Aguas con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado

**Fuente de los datos e información**

Datos de los muestreos realizados por INVEMAR en el marco de los compromisos de la operación estadística OE ICAM y la REDCAM, los cuales están almacenados en la base de datos de la REDCAM que es un componente del sistema de información ambiental marina de Colombia - SIAM.

**Periodo reportado**

Año 2022

**Reporte o cálculo del indicador**

Se presentan los resultados de la estimación del ICAM para el año 2022 de conformidad con los criterios definidos en la ficha metodológica de la OE-ICAM (Vivas-Aguas et al., 2022a) bajo los lineamientos de la NTC PE 1000:2020.

La información estadística anual se presenta en porcentaje de categorías del índice a escala nacional y regional.

**Interpretación de los resultados**

**Analisis Nacional**

En la Tabla 7 se presenta el número de registros por las categorías de calidad obtenidas en los diferentes departamentos del Caribe y Pacífico colombiano, en los sitios donde fue factible registrar datos de las características fisicoquímicas y microbiológicas para estimar el índice de calidad de aguas marinas y costeras con fines de preservación de fauna y flora (Vivas-Aguas et al., 2022a).

**Tabla 7. Número de registros del índice de calidad de aguas marinas y costeras con fines de preservación de fauna y flora - ICAM calculados por departamentos en la región Caribe y Pacífico y total nacional.**

Región	Departamento	Categorías de calidad					Total general	
		Óptima	Adecuada	Aceptable	Inadecuada	Pésima		
Pacífico	Chocó	3	4	1	4		12	
	Valle del Cauca		13	2			15	
	Cauca	4	4	3			11	
<b>Total Pacífico</b>		<b>7</b>	<b>21</b>	<b>6</b>	<b>4</b>		<b>38</b>	
Caribe	San Andrés y Providencia	1	6				7	
	Córdoba		7	3	1		11	
	Sucre	4	8		2		14	
	Bolívar	2	6	2	3		13	
	Atlántico		10	7	13	6	36	
	Magdalena	4	20	8	6	2	40	
	La Guajira		9	4	7	1	21	
	<b>Total Caribe</b>		<b>11</b>	<b>66</b>	<b>24</b>	<b>32</b>	<b>9</b>	<b>142</b>
	<b>Total Pacífico</b>		<b>18</b>	<b>87</b>	<b>30</b>	<b>36</b>	<b>9</b>	<b>180</b>

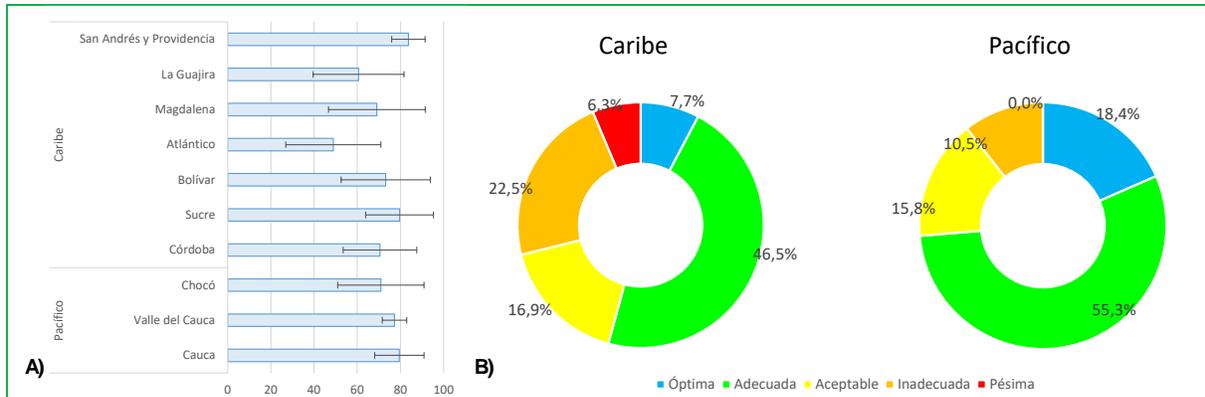
A escala nacional, la calidad del agua marina y costera para el uso de preservación de flora y fauna, en las estaciones de muestreo evaluadas en el año 2022, fluctuó entre óptima y pésima calidad, con valores del ICAM entre 8,3 y 94,2. El 10,0% de las estaciones presentó óptima calidad del agua, el 48,3% adecuada, 16,7% aceptable, 20,0% inadecuada y 5,0% fue pésima (Figura 23). Comparando estos resultados con los últimos cinco años (sin considerar el año 2020 que fue un muestreo atípico por la Pandemia del Covid-19), se observó a manera general una tendencia a la disminución de estaciones con mejor calidad del agua marina y costera (óptima y adecuada), pasando de 66,1% en 2018 a 52,4% en 2019 y 45,7% en 2021 a 58,3% en 2022 (Figura 23 A y B; Vivas-Aguas et al., 2023).



**Figura 23. Cambios históricos del ICAM A) Porcentaje (%) de estaciones de monitoreo de aguas marinas y costeras evaluadas con el índice ICAM entre 2018 y 2022. B) Tendencia en la proporción de las categorías de calidad en el periodo 2018 a 2022.**

**Análisis regional**

A escala regional, se presentaron variaciones en la calidad del agua marina y costera entre las regiones del Caribe y el Pacífico (Figura 24). En proporción, las mejores características de calidad (categorías óptima y adecuada) se encontraron en el Pacífico (75,9% ± 13,35), en comparación con el Caribe (65,2 ± 22,6), en donde se observaron condiciones pésimas en el 6,3% de los sitios (Figura 24; Vivas-Aguas et al., 2023).



**Figura 24. A) Valor del ICAM (promedio ± desviación estándar) obtenidos en los departamentos de las regiones del Caribe y Pacífico de Colombia en el año 2022. B) Proporción de calidad del agua marina y costera en las regiones caribe y Pacífico de acuer**

El 6,3% de sitios del Caribe donde se presentaron condiciones pésimas de calidad del agua requieren atención. Aunque en el Pacífico no hubo sitios con pésima calidad del agua, el 10,5% está en la categoría de calidad inadecuada, por lo cual requieren medidas de control.

Entre departamentos se observaron diferencias estadísticas (Kruskal Wallis, chi-cuadrado= 44,82;  $p < 0,05$ ) y mayor dispersión de los datos en La Guajira, Magdalena y Atlántico. En promedio mostraron mejor calidad del agua marina los departamentos del Archipiélago de San Andes, Providencia y Santa Catalina ( $83,70 \pm 7,75$ ) en el Caribe insular, en Sucre ( $79,59 \pm 15,65$ ) en el Caribe continental, y en Cauca ( $79,50 \pm 11,45$ ) en el Pacífico (Figura 25). En contraste el departamento del Atlántico ( $49,91 \pm 21,32$ ) en el Caribe, es donde se presentaron más sitios con registros ICAM en peores condiciones de calidad (inadecuada y pésima) para la preservación de la vida acuática marina (Vivas-Aguas et al., 2023).

A nivel espacial la mejor calidad del agua marina y costera, se registró en sitios ubicados en los departamentos de Sucre (4), Magdalena (4), Bolívar (2) y el Archipiélago de San Andrés y Providencia (1), en el Caribe; así como en el Cauca (4) y Chocó (3) en el Pacífico. A diferencia de la calidad pésima que se presentó en 9 registros de sitios ubicados en los departamentos del Atlántico (6), Magdalena (2) y La Guajira (1) (Figura 25; Vivas-Aguas et al., 2023).

3. Índice de calidad aguas marinas y costeras – ICAM

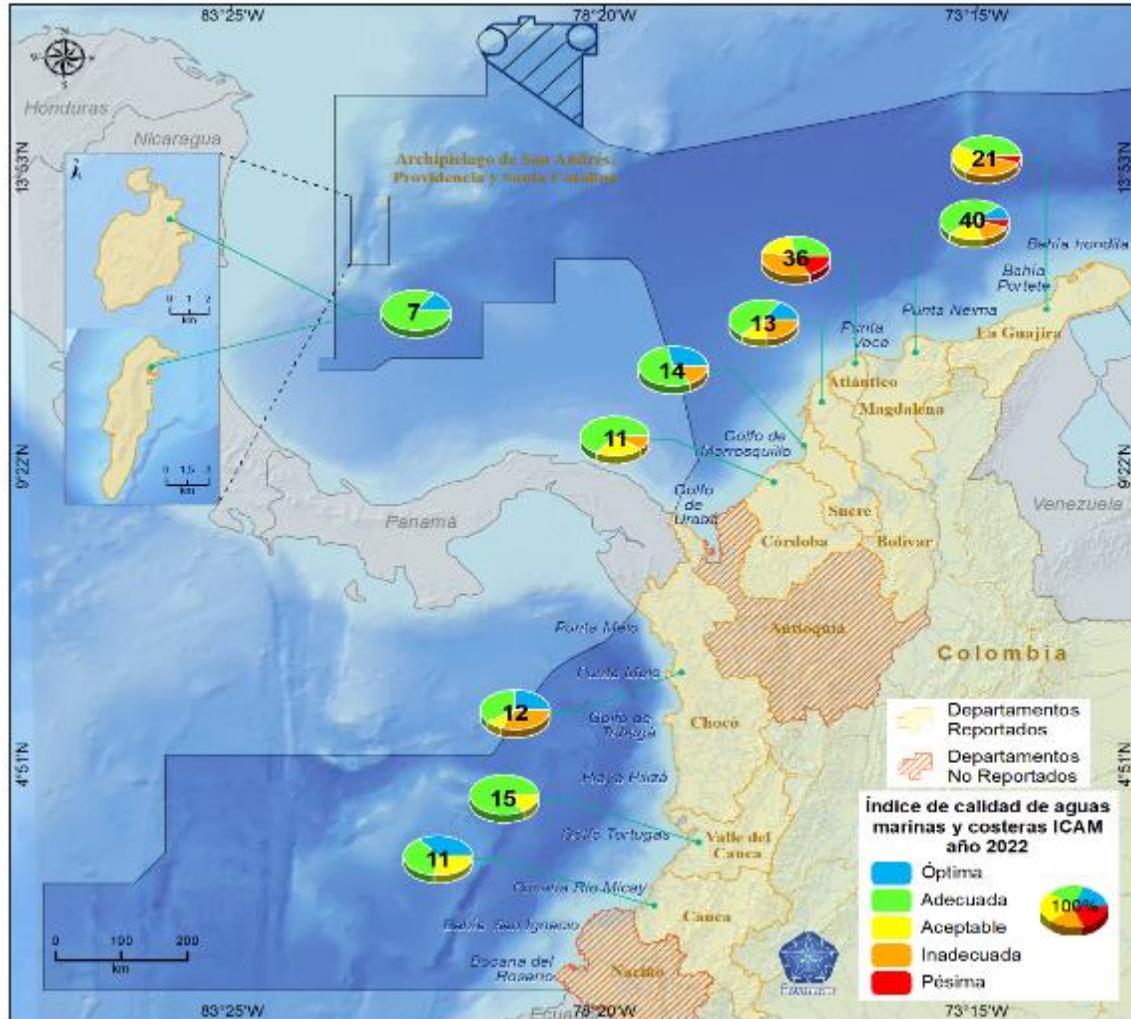


Figura 25. Representación del índice de calidad de aguas marinas y costeras – ICAM evaluado en los departamentos costeros de los litorales Caribe y Pacífico colombianos en el año 2022. Elaborado por Omar Lugo Dueñas Labsis-INVEMAR.

El ICAM no presentó diferencias significativas entre sitios de muestreo urbanos, rurales y naturales (Kruskal Wallis, chi-cuadrado= 3,51; p = 0,17), sin embargo, hubo diferencias entre áreas protegidas y no protegidas (Kruskal Wallis, chi-cuadrado= 21,65; p < 0,05), encontrando que las estaciones de peor calidad se ubicaron en áreas naturales 11% y en sitios donde no hay ninguna categoría de protección 21% (Vivas-Aguas et al., 2023).

**Limitaciones del indicador**

El ICAM está formulado para estimar la calidad del agua marino-costera con fines de preservación de flora y fauna. Se recomienda excluir aplicaciones en aguas típicamente continentales, teniendo en cuenta que las características del agua dulce o salmueras, no son compatibles con las que determina este índice, y los resultados no estarían acorde con la calidad esperada.

Para calcular el ICAM no debe existir ausencia de datos; sin embargo, la ecuación de agregación permite soportar el cálculo del índice con un mínimo de seis (6) variables, donde el resultado del ICAM tendrá un margen de confianza mayor o igual al 70%, lo cual dependerá de la variable ausente en la estimación del ICAM.

### *Análisis de contraste ICAM y tensores antropogénicos*

Las estaciones categorizadas como inadecuadas (naranja) y pésima (rojo) se encontraron en los departamentos de La Guajira, Atlántico, Magdalena, Sucre, Bolívar, Córdoba y Chocó, los cuales se asocian con los principales tensores antropogénicos identificados en cada sitio. A manera general, se evidenció que las condiciones de “pésima” calidad estuvieron influenciadas en mayor medida por actividades turísticas, drenajes menores de cuencas costeras, ingreso de aguas residuales y asentamientos humanos (Tabla 8) en particular en la región Caribe.

Los sitios valorados con calidad “inadecuada”, se localizaron en los departamentos de La Guajira, frente a las desembocaduras de ríos, descargas de aguas residuales y actividades productivas; Magdalena, frente a actividades turísticas y drenajes menores de cuencas costeras; Atlántico, frente a la desembocadura del río Magdalena y actividades turísticas; Bolívar, frente a actividades turísticas y asentamientos humanos; Sucre, frente al municipio costero con mayor población; Córdoba, frente a dos municipios costeros y los sitios con influencia del estuario del río Sinú; Chocó, frente al drenaje de las desembocaduras de ríos que llegan a la zonas costeras y los asentamientos humanos.

Los resultados del ICAM, indican la necesidad de tomar medidas efectivas para reducir la presión ejercida por las fuentes de contaminación que impactan la calidad del agua en áreas marino-costeras. Esto incluye la adopción de prácticas productivas responsables, el aumento de la infraestructura de saneamiento básico en comunidades costeras y la mejora de su operatividad (Superservicios, 2023). Con estos resultados, se espera que las autoridades competentes implementen acciones encaminadas a la protección de la calidad de las aguas marinas y costeras en el país, a través de los instrumentos de administración ambiental y el fortalecimiento de estrategias para prevenir y mitigar la contaminación proveniente de diversas fuentes por parte de los entes territoriales, para garantizar la meta de tener el 26,7% de estaciones con calidad aceptable y óptima.

Los resultados del ICAM, muestran que se requiere avanzar en medidas eficaces que reduzcan la presión de las fuentes de contaminación que afectan la calidad del agua en los ambientes marinos, adoptar buenas prácticas productivas, incrementar la infraestructura de saneamiento básico de municipios costeros y mejorar su funcionamiento (Superservicios y DNP, 2018). Con los resultados del presente reporte, se espera que las autoridades competentes implementen acciones encaminadas a la protección de la calidad de las aguas marinas y costeras en el país, a través de los instrumentos de administración ambiental y el fortalecimiento de estrategias de prevención y mitigación de las fuentes contaminantes por parte de los entes territoriales, para garantizar la meta de tener el 34,7% de estaciones con calidad aceptable y óptima.

### *Recomendaciones*

A partir de los resultados del ICAM, se recomienda a las autoridades ambientales competentes considerar la implementación de las acciones señaladas en el módulo de gestión ambiental de la herramienta Web ICAM (<https://siam.invemar.org.co/redcam-icam-gestion>), que contribuyan al mejoramiento de la calidad de las aguas marinas y costera.

**Tabla 8. Principales tensores antropogénicos relacionados con las condiciones inadecuadas y pésimas de calidad del agua marina y costera determinadas en los departamentos del Caribe y Pacífico colombianos en el periodo 2018 - 2021. Los números representa**

REGIÓN	TENSORES ANTROPOGÉNICOS	ACTIVIDADES TURÍSTICAS				DESEMBOLCADURAS GRANDES CUENCAS				DRENAJES MENORES DE CUENCAS COSTERAS				ASENTAMIENTOS HUMANOS				DESCARGA AGUAS RESIDUALES				ACTIVIDADES PRODUCTIVAS, PORTUARIAS E INFRAESTRUCTURA					
		DEPARTAMENTOS	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	
Caribe	San Andrés y Providencia		1	1										1	1								1	1			
	La Guajira	4		2	2			2	1				1			5					1	1				1	
	Magdalena	1								5			2	1	1	1	2	4	1		2	2	5		1		
	Atlántico	3	5			1	1		1								1	1				2	1				
	Bolívar	3		3			1												1		1		1		3		
	Sucre	1			1										1			1					1				
	Córdoba	1	1				2	2		4				1	1	2		1									
	Antioquia	6	2	5		1		1				2		1				1	1	1					1		
Pacífico	Chocó		3										1		1		1										
	Valle del Cauca						1										1							1			
	Cauca	2								1			1	2				1									
	Nariño		2												2			2									

## Calidad microbiológica del agua de baño en las playas turísticas

En Colombia, el turismo es un sector económico compuesto por múltiples subsectores, y sigue posicionándose como un importante motor de desarrollo y crecimiento económico (Rodríguez, 2022). En los últimos años es uno de los principales dinamizadores de la economía, que busca beneficiar a la población local, las comunidades y territorios, bajo principios de sostenibilidad y calidad ambiental (MICT, 2022). Una de las modalidades más atractivas para los turistas, es el turismo de sol y playa, debido a la belleza paisajística que rodea las playas colombianas y que las constituyen en uno de los principales destinos turísticos para visitantes nacionales y del mundo (Useche et al., 2023). Sin embargo, las diferentes actividades antrópicas que se desarrollan en la zona costera son factores que degradan la calidad ambiental de estos ecosistemas y deteriora los servicios ecosistémicos que ofrecen las playas (Yonoff y Díaz, 2018).

El uso de los recursos y la explotación de los ecosistemas costeros se han venido desarrollando progresivamente; los asentamientos humanos y el desarrollo de distintas actividades turísticas en las zonas costeras generan múltiples residuos que no siempre son manejados de forma adecuada, por lo cual pueden deteriorar la calidad del ecosistema y la disponibilidad de los recursos naturales (Pimienta, 2022, INVEMAR, 2002). Sumado a esto la escasa planificación y ordenamiento en los municipios costeros y la falta de saneamiento básico, manejo de residuos sólidos y sistemas de tratamiento de aguas residuales, convierten a las zonas costeras en áreas frágiles cambiando las características de calidad de agua (Vivas-Aguas., et al. 2014), afectando los ecosistemas y poniendo en riesgo la salud de los bañistas que hacen uso de estas playas para uso turístico, debido a que están expuestos a contraer enfermedades gastrointestinales, infecciones de la piel, ojos, oídos entre otros (Vergara et al., 2007; Gianoli et al., 2019). Por tanto, se requiere de una permanente provisión de información técnica y científica que permita generar insumos para tomar acciones que prevengan la degradación ambiental.

Con el objetivo de determinar si el agua de baño es apta para el uso recreativo de contacto primario, desde el año 2001 se viene realizando la evaluación de la calidad microbiológica del agua superficial en playas de uso turístico del Caribe y Pacífico colombianos, a través de los indicadores de contaminación fecal, coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE), en el marco del programa nacional de monitoreo de la Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia – REDCAM.

En este capítulo, se presentan los resultados de las mediciones realizadas en el año 2023 en las playas ubicadas en los departamentos de Atlántico, La Guajira, Bolívar, Magdalena, Sucre, Córdoba, Antioquia, y San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el Caribe y en los departamentos de Cauca, Choco y Valle del Cauca, en el Pacífico. Los datos se compararon con los criterios de calidad establecidos por la legislación nacional (<200 NMP/100 mL CTE; Minambiente, 2015) y los valores de referencia internacionales bandera azul (<100 UFC/100 mL EFE; Unión Europea, 2006). Se utilizó el percentil 95th para analizar los datos de las playas donde se realizaron varias mediciones.

### Coliformes termotolerantes

#### Análisis general y tendencia histórica

Las concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE), oscilaron entre menor límite de cuantificación de la técnica analítica usada en el LABCAM de INVEMAR ( $<1,8$  NMP/100 mL) y 16.000 NMP/100 mL ( Figura 26 ), con una mediana de 17 NMP/100 mL. Los CTE más altos y que obtuvieron una mayor dispersión se observaron en el departamento de Antioquia (mediana=9.200 NMP/100 mL) y Chocó (mediana=1.260 NMP/100 mL), en comparación con los departamentos de Bolívar (mediana=1,8 NMP/100 mL) y Sucre (mediana=17 NMP/100 mL) en el Caribe y en el departamento de Cauca en el Pacífico (mediana=1,8 promedio  $1,85 \pm 0,1$  NMP/100 mL), donde ninguna estación superó el criterio de calidad para contacto primario (200 NMP/100 mL).

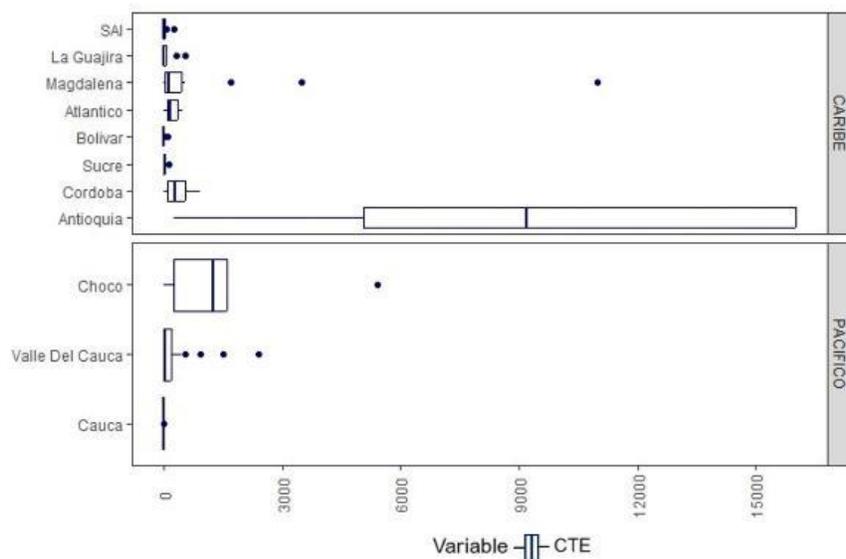


Figura 26. Gráfico de caja y bigotes de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE; NMP/100 mL) medido en las playas evaluadas por departamento en las regiones del Caribe y Pacífico, en el año 2023.

De las 91 playas evaluadas en el año 2023, el 64% cumplieron con el criterio de calidad para el uso recreativo de contacto primario en aguas de baño, en términos de CTE ( $<200$  NMP/100 mL CTE; [Minambiente, 2015](#)); (Figura 26) El comportamiento histórico de CTE mostró una leve tendencia al aumento de las playas que cumplen con el criterio de calidad para uso recreativo; sin embargo, en los años 2017, 2021 y 2022 los cuales estuvieron influenciados por el fenómeno de La Niña, se evidenció una disminución del porcentaje de cumplimiento por debajo del 60% en comparación con los últimos 10 años; principalmente en temporada de lluvias, debido al incremento de las precipitaciones y las escorrentías que llegan a la zona costera cargadas de residuos contaminantes, entre ellos, los microorganismos de origen fecal que afectan la calidad de las playas turísticas. En el año 2023, se observó un incremento del 18% de playas con condiciones óptimas para el uso recreativo de las aguas de baño, en comparación con el año anterior (Figura 27)

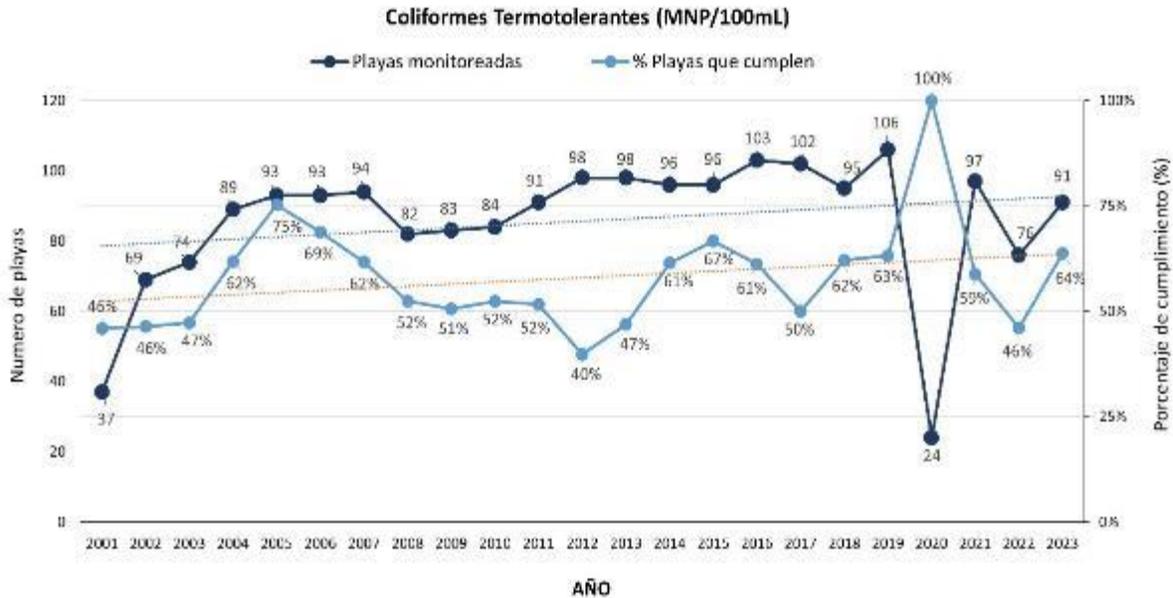


Figura 27. Tendencia del número de playas turísticas evaluadas entre 2001 y 2023 en Colombia y su porcentaje de cumplimiento, de acuerdo con el criterio de calidad para coliformes termotolerantes para uso recreativo de contacto primario (200 NMP/100 mL,

### Análisis regional

El análisis de CTE realizado en el 2023, mostró que las playas de uso turístico del Caribe tienen mejor calidad (mediana=17 NMP/100 mL) en comparación con las playas del Pacífico (mediana=23 NMP/100 mL). En la costa Caribe, el 69% de las 68 playas evaluadas cumplieron con la calidad microbiológica para realizar actividades de contacto primario, principalmente en los departamentos de Bolívar (100%), Sucre (100%), San Andrés y Providencia (89%) y La Guajira (71%). En los departamentos del Magdalena (64%), Atlántico (57%), Córdoba (40%) y Antioquia (0%), las playas registraron concentraciones altas de CTE, que incumpliendo con el criterio de calidad microbiológica para aguas de baño de uso recreativo (Figura 28 y Figura 29).

En la costa del Pacífico, el 48% de las 23 playas cumplieron con el criterio de calidad de coliformes termotolerantes para aguas de baño de uso recreativo de contacto primario, con la mayor proporción de cumplimiento en el departamento del Cauca (100%), mientras que en los departamentos de Chocó (33%) y Valle del Cauca (38%; Figura 28 y Figura 29) la mayoría de las playas presentaron concentraciones por encima del criterio de contacto primario (200 NMP/100 mL, [Minambiente, 2015](#)), a excepción de las playas de Jurubidá y Almejal (34 NMP/100 mL y 7,8 NMP/100 mL, respectivamente).

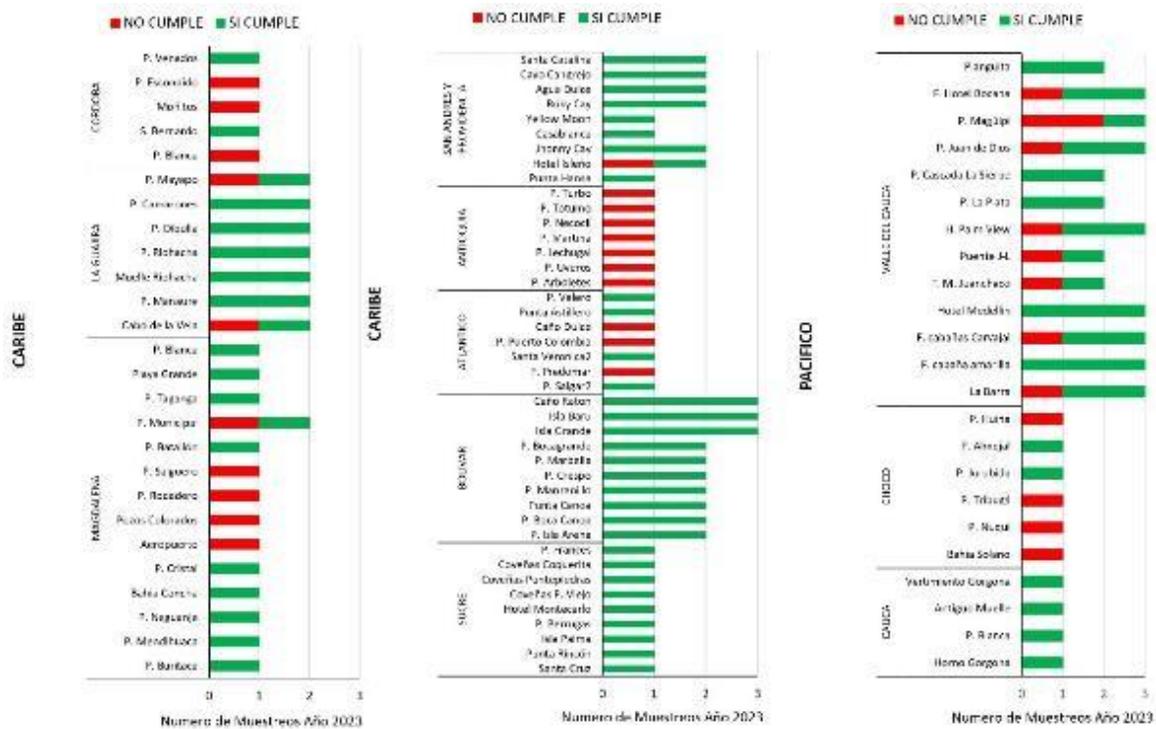


Figura 28. Número de muestreos realizados en el año 2023 en las playas turísticas de los departamentos del Caribe y Pacífico colombianos y estado de cumplimiento (cumple / no cumple) del criterio de calidad de coliformes termotolerantes para aguas de baño de uso recreativo de contacto primario (200 NMP/100 mL, [Minambiente, 2015](#)).

De las 91 playas evaluadas, siete (7) se encuentran en áreas naturales con figuras de protección (poca intervención antrópica), 47 se encuentran en áreas rurales y 37 en áreas urbanas. Relacionando los resultados de calidad del agua de baño por CTE con las características intrínsecas de las áreas de muestreo de las playas, se observaron diferencias significativas entre el tipo de playa ubicadas en área natural, con influencia urbana y rural (Kruskal Wallis,  $H=8,4737$ ;  $p=0,01445$ ). En playas con influencia urbana, se registraron las mayores concentraciones de CTE, con el 41% de incumplimientos, seguido de las playas en área rurales con el 38% de incumplimiento. Entre ellas, las mayores concentraciones de CTE se registraron en playas urbanas de Arboletes y Necoclí en el departamento de Antioquia (16.000 NMP/100 mL), playas de El Rodadero y Municipal (3.500 NMP/100 mL y 11.000 NMP/100 mL, respectivamente) en el Magdalena y la playa de Bahía Solano (5.400 NMP/100 mL) en el departamento de Chocó. Estas playas que tienen mayor influencia turística y están más cerca de centros poblados se ven afectadas por los desechos urbanos que deterioran la calidad del agua.

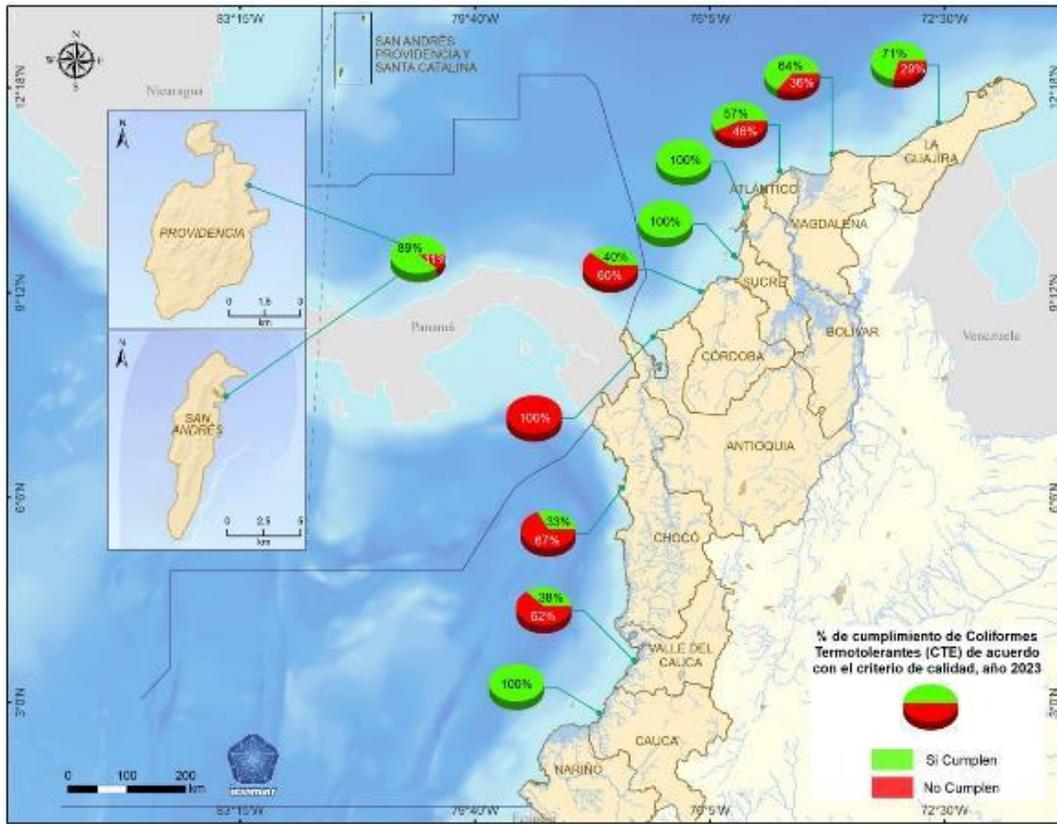


Figura 29. Representación del criterio de calidad de Coliformes Termotolerantes – CTE evaluado en los departamentos costeros de los litorales Caribe y Pacífico colombianos en el año 2023. El número en la gráfica indica el porcentaje de cumplimiento de Coliformes Termotolerantes – CTE. Elaborado por Omar Lugo Dueñas Labsis-INVEMAR

### Enterococos fecales

#### Análisis general y tendencia histórica

En el año 2023 las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) oscilaron entre el menor límite de cuantificación del método (<1,0 UFC/100 mL) y 564 UFC/100 mL. El 91% de las 79 playas turísticas evaluadas cumplieron con el valor de referencia para aguas de baño catalogadas como bandera azul (<100 UFC/100 mL EFE; [Unión Europea, 2006](#), (Figura 30). El comportamiento histórico de los EFE muestra una leve tendencia al aumento de playas evaluadas y del porcentaje de cumplimiento (Figura 30).

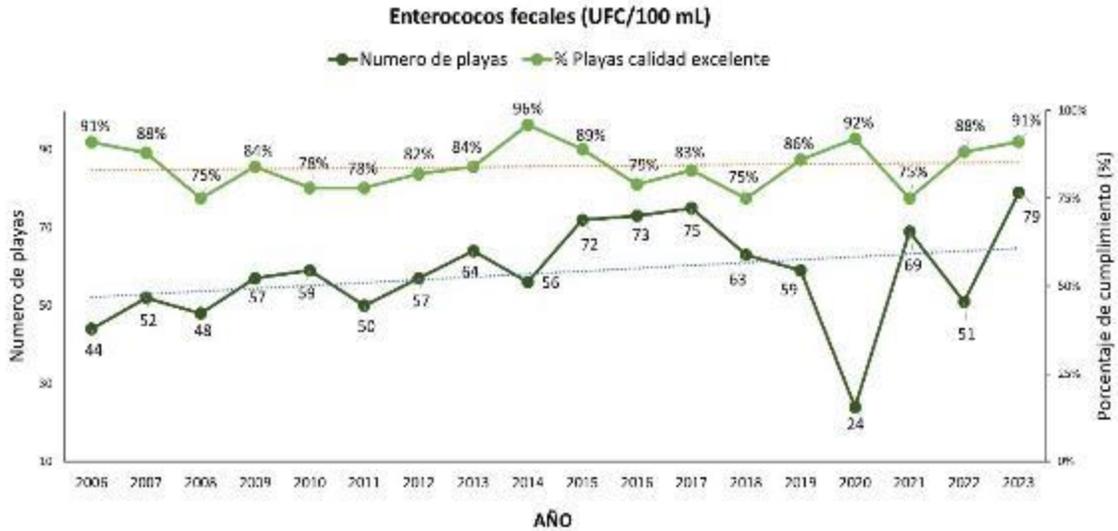


Figura 30. Tendencia del número de playas turísticas evaluadas en el período 2001 y 2023 en Colombia y su porcentaje de cumplimiento de acuerdo al valor de referencia para enterococos fecales para aguas de baño de uso recreativo bandera azul (<100 UFC/

Los EFE presentaron mayor dispersión y concentraciones más altas en los departamentos de Antioquia (mediana=108 UFC/100 mL) y Córdoba (mediana=40 UFC/100 mL) con valores que superaron la referencia para aguas de baño catalogadas como bandera azul (<100 UFC/100 mL EFE; Unión Europea, 2006), y un dato puntual en el mes de febrero 2023 de la estación playa municipal en el departamento del Magdalena (430 UFC/100 mL; Figura 31).

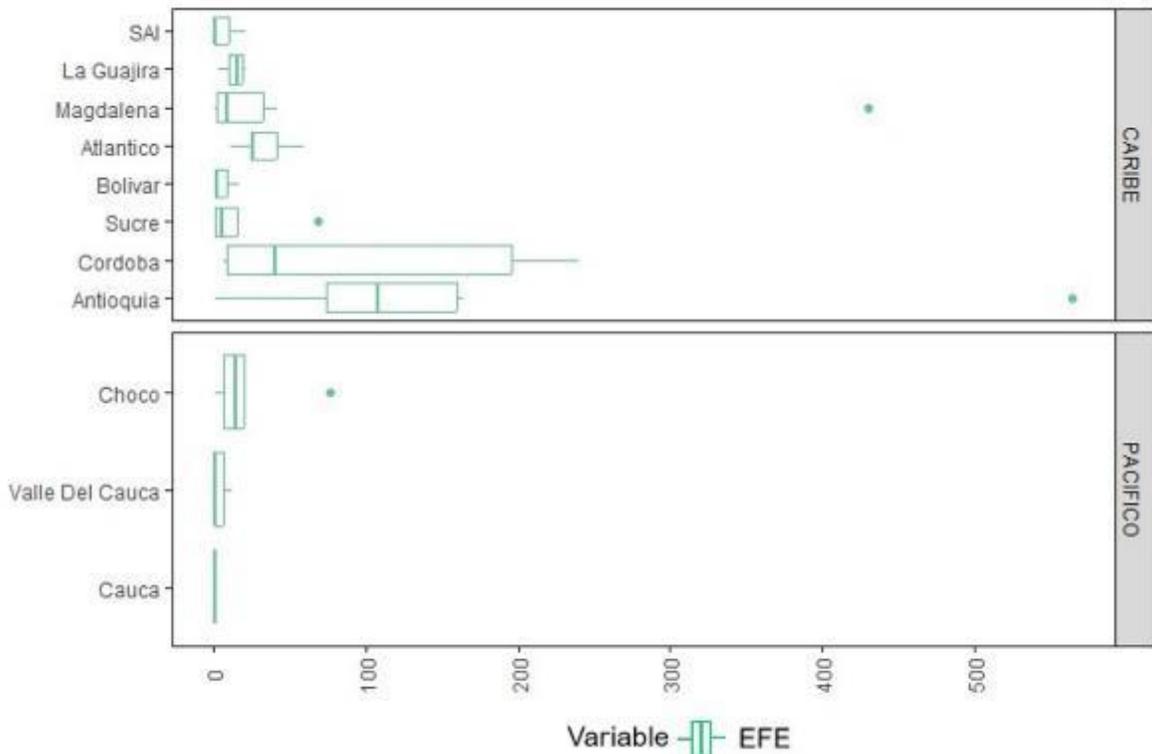


Figura 31. Gráfico de caja y bigotes de las concentraciones de Enterococos fecales (EFE) (UFC/100 mL EFE) medido en las playas evaluadas por departamento en las regiones del Caribe y Pacífico, en el año 2023.

*Análisis regional*

En términos de EFE, la mejor calidad microbiológica se registró en las playas del Pacífico (mediana=1; UFC/100 mL), en comparación con las playas del Caribe (mediana= 11 UFC/100 mL). En la costa del Pacífico las 17 playas evaluadas en los departamentos de Cauca, Chocó y Valle del Cauca cumplieron en un 100% con el valor de referencia de EFE (100 UFC/100 mL; Unión Europea, 2006) bandera azul (Figura 32); en la costa Caribe sólo el 89% de las playas cumplieron. Las playas que mostraron mejor calidad y bajas concentraciones de EFE se presentaron en las playas ubicadas en los departamentos de La Guajira, Atlántico, Bolívar, Sucre y San Andrés y Providencia que cumplieron en un 100%, seguido del Magdalena con el 92% de cumplimiento. Y las playas que en algún muestreo incumplieron sobrepasando la referencia de bandera azul (<100 UFC/100 mL EFE; [Unión Europea, 2006](#); Figura 32 y Figura 33) fueron Totumo, Necoclí, Uveros, Arboletes en el departamento de Antioquia y Puerto Escondido y Moñitos en el departamento de Córdoba.

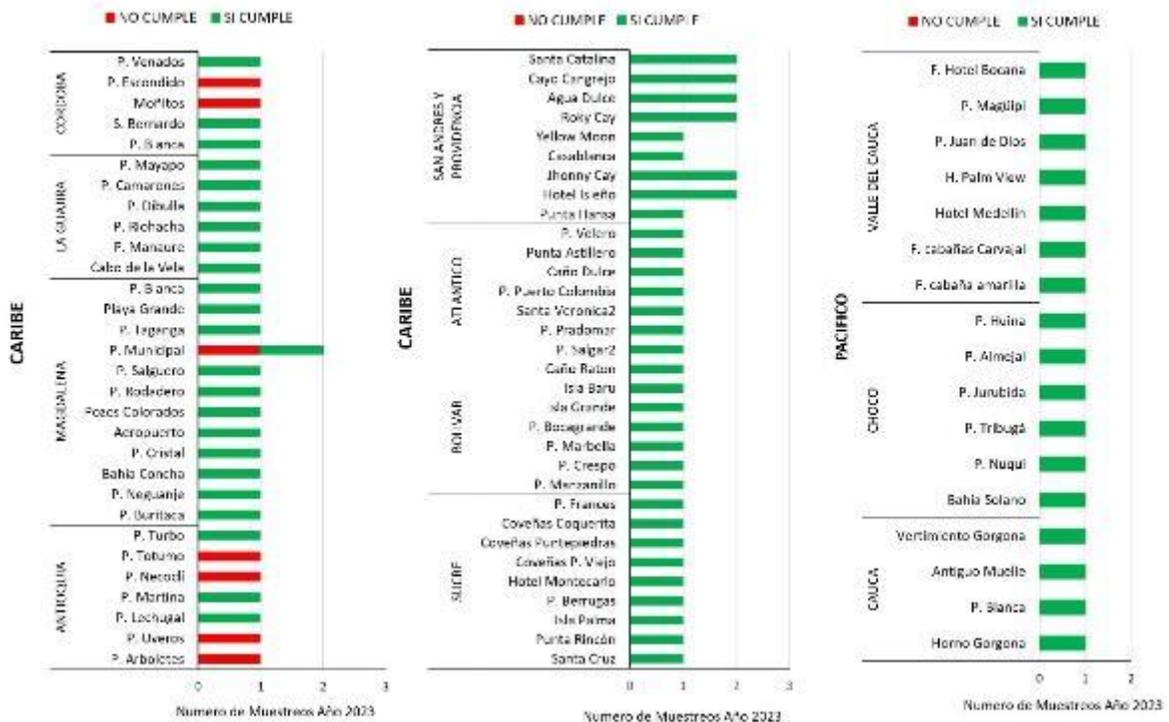


Figura 32. Número de muestreos realizados en el 2023 en las playas turísticas de los departamentos del Caribe y Pacífico colombiano y estado de cumplimiento (cumple / no cumple), de acuerdo al valor de referencia para enterococos fecales para aguas de de baño de uso recreativo bandera azul (<100 UFC/100 mL EFE; Unión Europea, 2006).

Los análisis estadísticos de EFE mostraron diferencias significativas entre los tipos de playa urbana, rural y natural (Kruskal Wallis, H=11,588; p=0,00304). Al igual que en CTE, las mediciones de EFE presentaron mayor incumplimiento en el 17% de las playas urbanas y 3% de playas rurales. Las concentraciones más altas se observaron en las playas urbanas de Necoclí en el departamento de Antioquia (564 UFC/100 mL), seguido de la playa Municipal en el Magdalena (430 UFC/100 mL) y las playas de Moñitos (240 UFC/100 mL) y Puerto Escondido (11.000 UFC/100 mL) en el departamento de Córdoba.

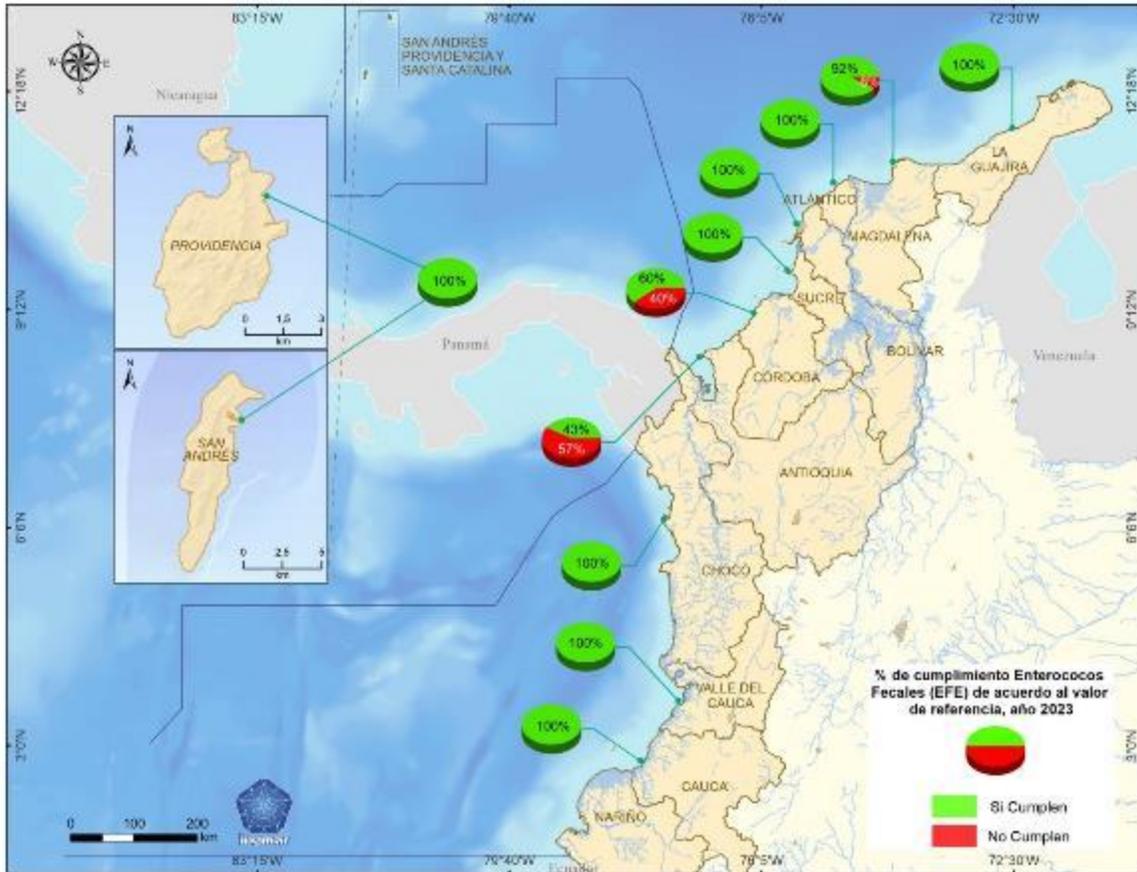


Figura 33. Representación del valor de referencia de Enterococos Fecales – EFE para bandera azul evaluado en los departamentos costeros de los litorales Caribe y Pacífico colombianos en el año 2023. El número en la gráfica indica el porcentaje de cumplimiento de Enterococos Fecales – EFE. Elaborado por Omar Lugo Dueñas Labsis-INVEMAR.

## ECOSISTEMAS Y HÁBITATS

### Arrecifes coralinos

Los arrecifes coralinos son estructuras tridimensionales que modifican dramáticamente el fondo marino y son creadas por diminutos seres llamados pólipos. Los pólipos se asocian con algas microscópicas (zooxantelas) y gracias a ello liberan oxígeno y secretan carbonato de calcio, siendo por esto conocidos como corales duros o escleractíneos (Prahly y Erhardt, 1985; Cairns, 1999; Díaz *et al.*, 2000; Reyes *et al.*, 2010). Son propios de aguas someras y cálidas, por lo que se les observa más comúnmente alrededor de los trópicos por todo el mundo, principalmente en zonas costeras, pero llegando incluso a tener presencia a los 6.000 m en los que la luz está ausente y por ende sus zooxantelas (Murray-Roberts *et al.*, 2009). Los arrecifes coralinos generan entre otras funciones oxígeno, hábitat, alimento y protección para más del 25% de especies marinas (Príncipe *et al.*, 2011; Alva-Basurto y Arias-González, 2015). Son muchos los bienes y servicios que le brindan a la humanidad generando desde protección costera hasta generación de divisas por buceo y turismo, siendo a la vez epicentros de biodiversidad y valor paisajístico. Su belleza, que les confiere valor económico y ecológico, hace que sea de vital importancia el continuar monitoreando, investigando, conociendo y preservando este ecosistema que es hoy por hoy el ecosistema marino emblemático de la humanidad, pese a estar seriamente amenazado por el cada vez mayor, deterioro ambiental (Burke *et al.*, 2011; Reyna *et al.*, 2018).

Los arrecifes coralinos del mundo y específicamente de Colombia se encuentran sometidos a varios factores de origen antropogénico como descargas de contaminantes, malas prácticas de pesca y buceo, accidentes marítimos o de navegación entre los principales, pero también a efectos por fenómenos naturales (muchos de los cuales son un efecto indirecto de los antropogénicos) entre los que se encuentran, competencia con macroalgas (aumentando en un 20% en los últimos 10 años), pujas extremas, aumento o disminución de la temperatura media del mar (lo que produce blanqueamiento como la principal causa de mortalidad en corales), enfermedades, tormentas tropicales y huracanes, acidificación oceánica etc. En los últimos años en la región Caribe, las enfermedades han aumentado en cuanto a su frecuencia e inclusive se han identificado nuevas con un impacto más fuerte para la supervivencia de los corales como la enfermedad de pérdida de tejido coralino (SCTDL por sus siglas en inglés). Por lo que las alertas están disparadas con lineamientos para prevención y control de esta enfermedad (Circular 20002022E4000058 MinAmbiente septiembre 29 de 2022) y estudios destinados a encontrar la receta más conveniente para recuperar o evitar la enfermedad y de esta manera cortar la degradación por pérdidas masivas a nivel local y regional.

Por otro lado, de acuerdo con el informe de estado de los arrecifes coralinos del mundo (Souter *et al.*, 2021) se han perdido más del 14% de corales del mundo desde 2009 especialmente atribuido al impacto de las temperaturas elevadas, sin embargo no todo son malas noticias, también se ha evidenciado que algunas áreas (región del Triángulo de Coral de Asia Oriental) se vieron menos afectadas e incluso se recuperaron más rápidamente que otras, mientras que en zonas como Australia, el Caribe, el Pacífico tropical oriental y el sur de Asia, más de 75% de los corales que habían sido objeto de un seguimiento repetido durante más de 15 años y que habían sufrido una perturbación importante no fueron resilientes.

Por lo anterior, acciones tendientes a la salvaguarda de los stocks genéticos y al mejoramiento de la calidad de las aguas oceánicas que puedan disminuir o mitigar los efectos adversos de estas sobre los ecosistemas y el incremento en procesos de restauración para disminuir los actuales impactos, son decisiones que deberán tomarse en los próximos años de manera contundente si se espera

dejar una marcada huella para las generaciones futuras sobre el compromiso que se tiene en el mejoramiento del estado del ambiente biofísico oceánico.

### Localización y distribución

Para efectos de entendimiento de términos, los arrecifes coralinos son las formaciones compuestas de coral que son determinadas por los procesos de acreción/erosión del sustrato calcáreo (carbonato de calcio), generado durante su crecimiento vertical y horizontal. Los arrecifes de coral comprenden desde pequeños tapetes/parches coralinos aislados hasta grandes formaciones como los arrecifes de barrera.

Las áreas coralinas son porciones del paisaje marino caracterizadas y moldeadas por la presencia de corales pétreos. Comprenden los arrecifes de coral, los bancos coralinos de profundidad, y las comunidades bentónicas en general con una presencia importante de corales. En tales áreas también hay una serie de biotopos inmersos, como fondos arenosos, esponjas, octocorales y de pastos marinos entre otros, cada biotopo con arreglos particulares de características físicas, bióticas y funcionales.

En Colombia, han sido exploradas las comunidades bentónicas con mayor detalle en aguas someras hasta los 30m de profundidad, tanto en el Caribe como en el Pacífico. En este sentido, dichas áreas comprenden además de las formaciones coralinas que le dan su nombre, una serie de biotopos y hábitats asociados, usualmente distribuidos en forma de mosaico, cuya localización puede ser determinada según la escala espacial de análisis, a partir de la naturaleza física del sustrato (geomorfología, sedimentología, etc.) y los componentes bióticos que cubren el fondo principalmente (coral, algas, pastos marinos, esponjas, octocorales, etc). Con base en la actualización de la extensión de los ecosistemas marinos, al interior de las áreas coralinas colombianas (374.474,9 ha) (Invemar-Minambiente 2024), los arrecifes de coral abarcan una extensión total de 190.485,3 ha, los cuales se encuentran ubicadas en la región insular en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (84%), en el Archipiélago de Nuestra Señora del Rosario y San Bernardo (10,6%), Bajo Tortugas, Isla Fuerte, bajo bushnell, bajo Burbuja, Tayrona, Bahía Portete y Chocó Darién (5,4%). En el Pacífico, los sitios mejor estructurados y con mayor cobertura del coral son la isla Gorgona (67%), la ensenada de Utría, Tebada e isla Malpelo. En el Caribe colombiano el 78% de las formaciones coralinas se encuentra dentro de diferentes categorías de conservación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) y para el Pacífico, cerca del 91%. Se puede acceder a más información en el Atlas de arrecifes coralinos de Colombia a través del siguiente enlace: (<https://areas-coralinas-de-colombia-invemar.hub.arcgis.com/>).

#### 4. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM

##### Definición e importancia del indicador

El índice de condición tendencia de áreas coralinas (ICTAC) permite establecer la condición del ecosistema y con las series de datos anuales, las tendencias de la estructura ecológica en áreas coralinas de hasta 30 m de profundidad, a partir de cuatro variables: corales, macroalgas, peces arrecifales carnívoros y herbívoros (Rodríguez-Rincón *et al.*, 2014). El resultado del ICTAC será el estimado por el promedio aritmético de las variables transformadas (adimensionalmente) y será específico para el conjunto de estaciones de una localidad del Caribe o Pacífico colombianos, siguiendo las siguientes formulas:

4. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM

$$ICTAC_{CARIBE} = \frac{CCV + CM + BPH + BPC}{4} \quad ICTAC_{PACÍFICO} = \frac{CCV + CM + APH + APC}{4}$$

Donde CCV = Cobertura de coral escleractíneo vivo (%), CM = Cobertura de macroalgas (%), BPH = Biomasa de peces herbívoros para las familias Acanthuridae y Scaridae (g/100m<sup>2</sup>), BPC = Biomasa de peces carnívoros para las familias Lutjanidae y Serranidae (g/100m<sup>2</sup>). En el caso de los peces del Pacífico se trabaja con base en la Abundancia, APC = Abundancia peces carnívoros (ind/100m<sup>2</sup>) y APH = Abundancia peces herbívoros (ind/100m<sup>2</sup>).

Cada una de las cuatro variables que conforman el indicador, se clasifican según escalas de referencia para el Caribe y Pacífico colombiano como: deseable, buena, regular, alerta y no deseable (Tabla 9 y

Tabla 10). Las áreas coralinas evaluadas más deterioradas obtendrán al final los valores más bajos y las más conservadas los valores más altos (Rodríguez-Rincón *et al.*, 2014) (

Tabla 11). La importancia de este indicador radica en su fácil aplicabilidad como herramienta para el monitoreo estandarizado de arrecifes de coral, permitiendo su comprensión para aumentar la gestión en la conservación integral del ecosistema.

**Tabla 9. Valores de referencia para las variables del índice de condición-tendencia de áreas coralinas – ICTAC (Rodríguez-Rincón et al., 2014) en la región Caribe - Referencias de McField et al., 2020).**

Variables ICTAC CARIBE	Deseable (5)	Buena (4)	Regular (3)	Alerta (2)	No Deseable (1)
Cobertura coral pétreo vivo CCV (%)	> 40	39,9 - 20	19,9 - 10	9,9 - 5	< 5
Cobertura macroalgas CM (%)	< 1	1,1 - 5	5,1 - 12	12,1 - 25	> 25
Biomasa peces herbívoros BPH (g/100m <sup>2</sup> )	> 3290	3290 - 2740	2741 - 1860	1859 - 990	< 990
Biomasa peces carnívoros BPC (g/100m <sup>2</sup> )	> 1620	1620 - 1210	1209 - 800	799 - 390	< 390

**Tabla 10. Valores de referencia para las variables del índice de condición-tendencia de áreas coralinas – ICTAC (Rodríguez- Rincón et al., 2014) en la región Pacífico (tomado de SISMAC- INVEMAR).**

Variables ICTAC PACÍFICO	Deseable (5)	Buena (4)	Regular (3)	Alerta (2)	No Deseable (1)
Cobertura coral pétreo vivo CCV (%)	> 40	39,9 - 20	19,9 - 10	9,9 - 5	< 5
Cobertura macroalgas CM (%)	< 1	1,1 - 5	5,1 - 12	12,1 - 25	> 25
Abundancia peces herbívoros APH (ind/100m <sup>2</sup> )	> 3290	3290 - 2740	2739 - 1860	1859 - 990	< 990
Abundancia peces carnívoros APC (ind/100m <sup>2</sup> )	> 1620	1620 - 1210	1209 - 800	799 - 390	< 390

## 4. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM

**Tabla 11. Valores de referencia finales para definir el Índice de condición-tendencia de áreas coralinas – ICTAC (Rodríguez-Rincón et al., 2014).**

Condición general	Valor ICTAC
Deseable	4,21 - 5
Buena	3,41 - 4,2
Regular	2,61 - 3,4
Alerta	1,81 - 2,6
No deseable	1 – 1,8

## Fuente de los datos e información

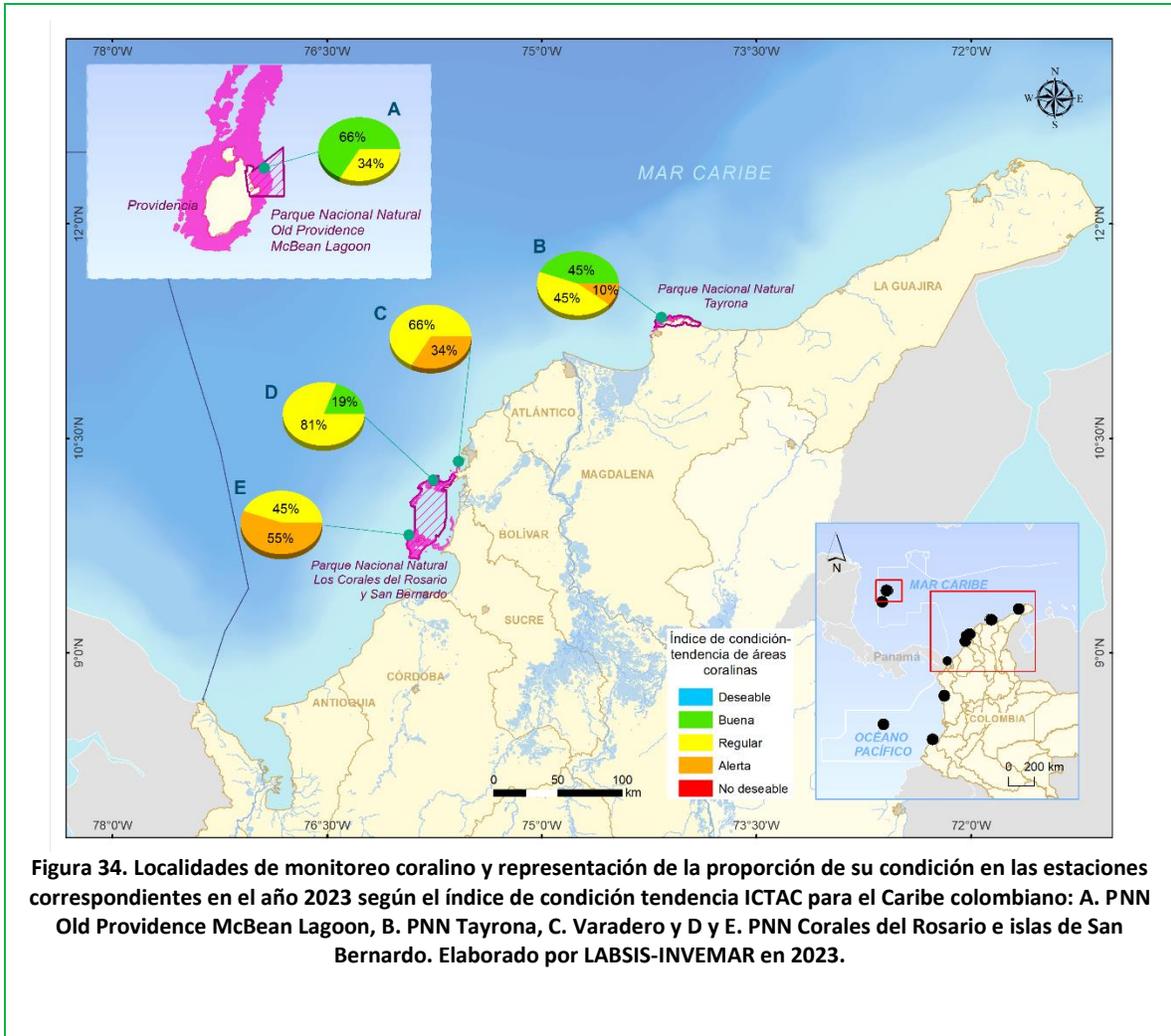
Los resultados presentados corresponden a datos del monitoreo de arrecifes coralinos en la región Caribe continental para el PNN Tayrona, PNN Corales del Rosario y San Bernardo (sectores Islas del Rosario, Islas de San Bernardo y Playa Blanca Barú) y Varadero e Insular (Islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina) (Figura 34). En la región Pacífico los datos corresponden al SFF Malpelo, PNN Utría y PNN Gorgona (Figura 35). La información recolectada se encuentra salvaguardada en el Sistema de Información para el Monitoreo de Arrecifes Coralinos (SISMAC) contenido en el Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia SIAM.

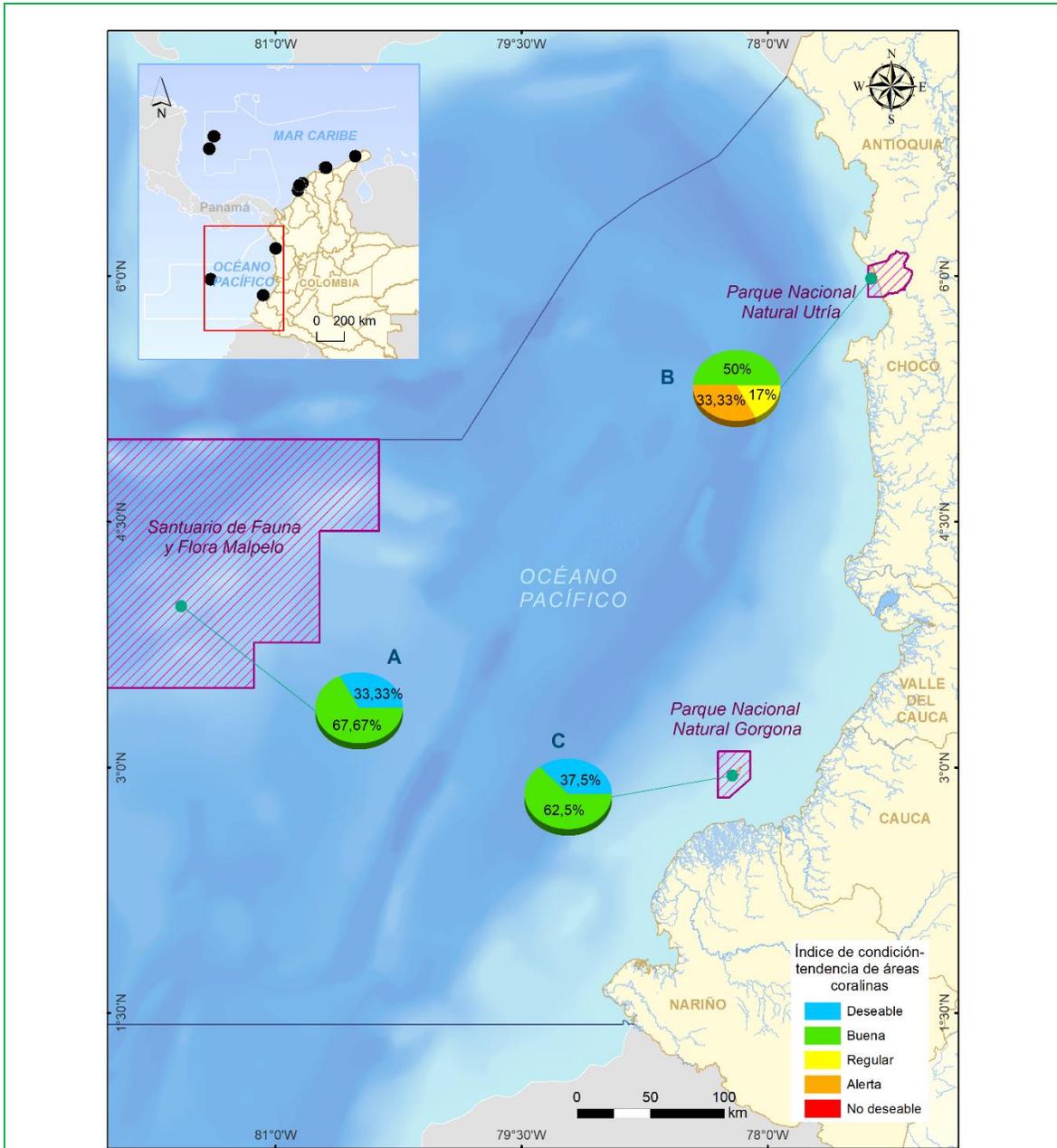
## Periodo reportado

El periodo reportado corresponde a la información obtenida y analizada en el año 2023. Sin embargo, para la revisión de la tendencia se han tomado los datos de los años 2014 a 2023

## Reporte o cálculo del indicador

En la Figura 34 y Figura 35 se muestran las estaciones presentes en las distintas localidades de la región Caribe continental e insular y la región Pacífico respectivamente. Las gráficas montadas en los mapas indican el porcentaje de estaciones que presentaron cada condición del indicador, dando una idea del comportamiento de cada localidad en el que se observa que no es homogéneo y dependerá de la ubicación y situaciones características de cada una de las estaciones.





**Figura 35. Localidades de monitoreo coralino y representación de la proporción de su condición en las estaciones correspondientes en el año 2023 según el índice de condición tendencia ICTAC para el Pacífico colombiano: A. SFF Malpelo B. PNN Utría y C. PNN Gorgona. Elaborado por LABSIS-INVEMAR.**

Para mostrar los resultados del ICTAC se hace un promedio general por variable en cada una de las estaciones y se comparan con el valor de referencia para llegar a un resultado por localidad, por lo cual, lo que se representa con este indicador es una generalidad para toda el área. Para una referencia de los resultados obtenidos, se presenta un desglose del comportamiento de cada variable del indicador por área para el año 2023 (Tabla 12 y Tabla 13) con el fin de poder interpretar con mayor facilidad las tendencias de la Figura 36 y Figura 37.

## 4. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM

Tabla 12. Condición de estado según el ICTAC de los valores registrados para cada una de las variables del índice, observada por áreas de la región Caribe continental en el año 2023. Representación de los colores así: azul: Deseable, verde: Buena, amar

AÑO	ÁREA	Biomasa Carnívoros BPC (gr/100 m <sup>2</sup> )	Biomasa Herbívoros BPH (gr/100 m <sup>2</sup> )	Cobertura de coral vivo CCV (%)	Cobertura de macroalgas CM (%)
2023	PNN Old providence MCBEAN LAGOON	2091,17	6536,42	37,11	59,78
	PNN TAYRONA	1342,6	5621,9	56,2	35,5
	PNN Corales del Rosario y San Bernardo - I. SAN BERNARDO	272,22	3260,88	36,09	39,16
	PNN Corales del Rosario y San Bernardo - I. DEL ROSARIO	662,12	8176,1	38,4	42,4

Tabla 13. Condición de estado según el ICTAC de los valores registrados para cada una de las variables del índice, observadas por áreas de la región Pacífico en el año 2023. Representación de los colores así: azul: Deseable, verde: Buena, amarillo: Regular

AÑO	ÁREA	Abundancia Carnívoros APC (individuos/100 m <sup>2</sup> )	Abundancia Herbívoros BPH (individuos/100 m <sup>2</sup> )	Cobertura de coral vivo CCV (%)	Cobertura de macroalgas CM (%)
2023	Malpelo	53,22	9,83	47,8	10,3
	Utría	6,13	17,72	36,47	44,47
	Gorgona	25,33	11,07	65,8	20,1

Finalmente, se presenta la tendencia observada a lo largo del monitoreo por categoría de Condición-Tendencia para cada región, Caribe continental Figura 36 y Pacífico Figura 37, entre 2014 y 2023. La tendencia para las estaciones del Caribe continental se observa así:

4. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM

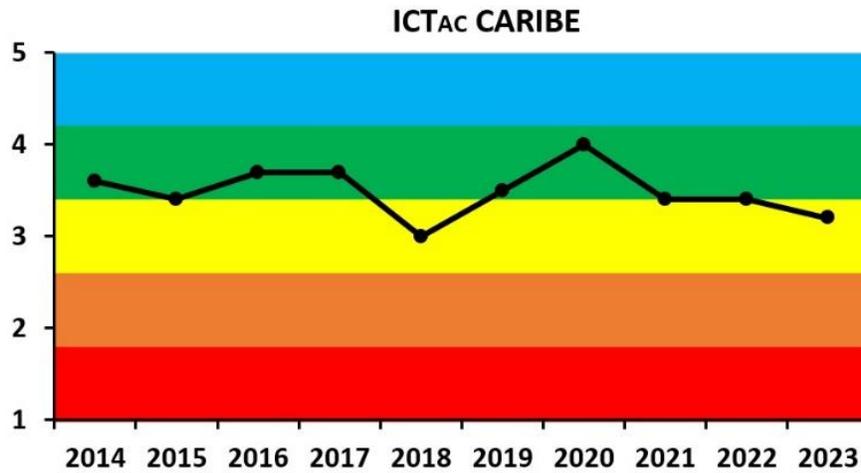


Figura 36. Tendencia promedio general observada a través del tiempo de las condiciones ICTAC observadas en la totalidad de las estaciones de la región Caribe continental entre los años 2014 y 2023. Representación de los colores así: azul: Deseable, verde: Buena, amarillo: Regular, naranja: Alerta y rojo: No Deseable

Por su parte, la tendencia de las estaciones ubicadas en las áreas del Pacífico se observan de la siguiente forma:

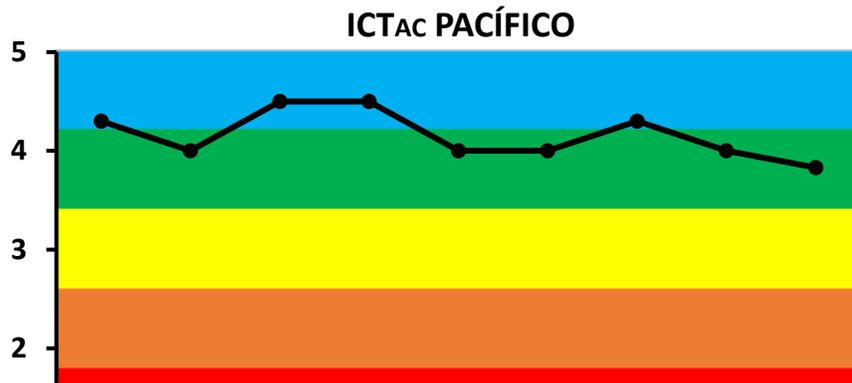


Figura 37. Tendencia general del comportamiento del ITAC observada a través del tiempo, para la totalidad de las estaciones de la región Pacífico entre los años 2014 y 2023. Representación de los colores: azul: Deseable, verde: Buena, Amarillo: Regular, Naranja: Alerta y Rojo: No Deseable.

Interpretación de los resultados

Las gráficas incluidas en los mapas de cada una de las dos regiones reportadas muestran el porcentaje de estaciones reportadas por condición del ICTAC para el año 2023. Entre estas se incluyen, 13 estaciones del Tayrona, 11 del sector de islas del Rosario, 9 estaciones del sector de islas de San Bernardo y 3 de Varadero. Por su parte en el Pacífico se incluyen 8 estaciones de Gorgona, 6 de Utría y 3 de Malpelo.

#### 4. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM

La Tabla 12 y Tabla 13 permiten entender mejor la razón por la cual se califica la condición del ICTAC para las distintas áreas. En el caso del Caribe se puede evidenciar la presencia generalizada de altos valores de cobertura de macroalgas (35-60%), superando incluso el valor de cobertura coralina en zonas como la Ensenada de Utría (36,47%) y en McBean (37,11%). Igualmente se puede identificar valores altos en cuanto a la presencia de peces herbívoros calificados como Deseables y Buenos (>8000 gr/100m<sup>2</sup>) para todos los casos, situación que contrasta notoriamente con los valores comparativamente más bajos de carnívoros, especialmente en las islas de Rosario y San Bernardo (272-662 gr/100m<sup>2</sup>), en el que aparente efecto de la sobrepesca influye directamente en esto.

En el caso del Pacífico, los resultados muestran a nivel general valores más equilibrados entre la cobertura coralina y la de macroalgas, prestando especial atención a los valores de Alerta por la alta presencia de macroalgas en Utría causada por el destapamiento y muerte coralina. La cobertura coralina, por su parte, destaca con valores por encima del 35%, llegando incluso a un nada despreciable valor del 66% para Gorgona. En cuanto a los peces, la situación en el Pacífico tiende a ser diferente con respecto al Caribe, dado que la presencia tanto de herbívoros, y especialmente de carnívoros, es evidente en la mayoría de lugares. Para Malpelo, sin embargo, se destaca una marcada ausencia de herbívoros que ha sido común a través de los años, por lo que la calificación tiende a ser baja. Esta situación se cataloga como algo "natural" para el área, por lo que es un factor a tener en cuenta al momento de analizar los resultados de las variables que conforman el ICTAC.

En cuanto a las tendencias históricas en cada región, se observa un leve descenso en los resultados obtenidos, en los que la calificación general para el Caribe fue Regular (55% de las estaciones con esta calificación), dado principalmente por componente de cobertura de algas que presentó un evidente aumento en su valor para el este año, así como la baja presencia de individuos de peces carnívoros en algunas áreas como Rosario y San Bernardo. En el caso del Pacífico, la fluctuación también es baja manteniéndose con una calificación Buena para 15 de sus 17 estaciones, reflejando a su vez que a través de los años estas áreas no han sido afectadas directamente por actividades antropogénicas como su contraparte en el Caribe colombiano, únicamente se evidenció la disminución de cobertura de tejido vivo en dos estaciones del PNN Utría como consecuencia del destapamiento del arrecife sufrido por las mareas astronómicas del mes de febrero en el año 2023.

#### Limitaciones del indicador

Dado el carácter visual del monitoreo, el indicador es sensible principalmente a la variabilidad en la presencia o ausencia de las poblaciones de peces objeto del monitoreo, debido al azar, a la historia de vida de las especies o a las condiciones locales que limitan la visibilidad incluso para poder registrar componentes del fondo. Se ha observado que sólo eventos naturales o antropogénicos extremos pueden alterar la cobertura coralina de forma dramática.

## Pastos marinos

Los pastos marinos, son plantas vasculares (angiospermas) que han emigrado de la tierra al mar, adaptándose fisiológicamente para cumplir todo su ciclo de vida sumergidas en agua salina-salobre. A nivel mundial existen alrededor de 60 especies distribuidas en cuatro familias y 12 géneros, de las cuales en el Caribe colombiano se encuentran tres familias y seis especies de las cuales *Thalassia testudinum* es la más frecuente y representativa de todas (Díaz *et al.*, 2003). Son propias de las zonas costeras, protegidas y poco profundas de casi todas las áreas del planeta (Short *et al.*, 2007), dependiendo de la especie son más prósperas en aguas eurihalinas que en salobres. Por su ubicación en las áreas someras del mundo son indicadores del estado de salud de las zonas costeras y a su vez generan servicios ecosistémicos del tipo protección contra la erosión (Börjk *et al.*, 2008), son hábitat y alimento para diversas especies de interés comercial que luego migran hacia los arrecifes coralinos y manglares (De La Torre-Castro y Ronnback, 2004; Heck *et al.*, 2003), proveen oxígeno a la columna del agua, mantienen la biodiversidad de organismos y son uno de los ecosistemas considerados con mayor capacidad de secuestro de Carbono frente a otros ecosistemas terrestres (Fourqurean *et al.*, 2012; Pendleton *et al.*, 2012) mejor conocidos como Carbono Azul, son la máquina viva y natural más activa en la captura del CO<sub>2</sub> frente a otros ecosistemas terrestres.

La pérdida de pastos marinos (en cobertura y especies) se ha evidenciado a partir de las pérdidas masivas causadas por pérdida de hábitat y por enfermedades y se estima que desde finales del siglo XIX se ha perdido más del 30% de este hábitat (Waycot *et al.*, 2009) y después de 1990 algo más del 7% se pierde cada año en el mundo. Las causas de su pérdida se le atribuyen al desarrollo costero, dragados, malas prácticas de pesca, actividades de navegación no reguladas, contaminación y sedimentación entre otras, siendo más vulnerables debido a su localización sobre la línea costera (UNEP 2020). Este ecosistema ha sido uno de los que se ha reconocido lentamente desde mediados del siglo XX a través de los estudios de distribución, biología y más recientemente sobre su capacidad junto con los manglares de capturar carbono atmosférico en su biomasa. Se estima que en buenas condiciones secuestran entre 43–394 Tg Corg/año (Fourqurean *et al.*, 2012) y estudios realizados por Serrano *et al.*, (2021) en Colombia, han demostrado que praderas de *Thalassia testudinum* almacenan mucho más que el promedio mundial ( $241 \pm 118$  Mg Corg/ha) lo que en conjunto las coloca en la mira para su conservación a todo nivel. Este papel fundamental entre otros servicios ecosistémicos que presta es primordial como tema de investigación de punta actual y para su prevalencia en las próximas décadas, pese a las altas perturbaciones de origen antropogénico y naturales, entre las que se encuentra tanto la variabilidad como el Cambio climático. Por ello, si como país queremos alcanzar las metas de la Agenda nacional de acción climática 2030 y a 2050 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se requieren no sólo planes de conservación ambiciosos sino una ejecución de estos de manera contundente.

### Localización y distribución

Las praderas de pastos marinos de Colombia son propias del mar Caribe, prácticamente se presentan intermitentemente a lo largo de la costa encontrándose el 85 % sobre la plataforma continental del departamento de La Guajira y actualmente comprende una extensión exclusiva en el Caribe colombiano correspondiente a 65.089,5 ha (Díaz *et al.*, 2003, Gómez-López *et al.*, 2014, Invemar-MinAmbiente-Dimar-CCO, 2021, Rojas-Aguirre *et al.*, 2022, Invemar, 2023, Acosta-Chaparro *et al.*, 2023). Se presentan praderas compuestas por una o varias especies (*Thalassia testudinum* – *Syringodium filiforme* / *Halodule wrightii* / *Halophila decipiens* / *Halophila baillonis*) compartiendo en algunos casos hábitat con formaciones coralinas y/o de macroalgas. A nivel

nacional, la representatividad de pastos marinos dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas SINAP corresponde a 29% y en La Guajira se presenta el DRMI Sawäirü específico para pastos marinos con aproximadamente 12 mil hectáreas.

### 5. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM

#### Definición e importancia del indicador

El indicador de condición tendencia de pastos marinos (ICTPM) evalúa la condición general de integridad biótica y por tanto del estado de conservación de praderas de pastos marinos y sus cambios a través del tiempo, por medio de la incorporación de información tomada en campo mediante la metodología SeagrassNet adaptada para Colombia (Gómez-López *et al.*, 2014) de seis variables que miden atributos estructurales y funcionales de este ecosistema (densidad de vástagos, densidad de herbívoros, carnívoros y detritívoros/omnívoros, afectación por *Labyrinthula* spp. y/o afectación por invertebrados) y mortalidad (sólo cuando se presenta) en un sólo valor numérico. Se debe aclarar que en función de dar alarma frente a la marcada desaparición de vástagos en los transectos evaluados (por sepultamiento o extracción) los valores de afectación por *Labyrinthula* spp. y/o por invertebrados están relacionados directamente con la presencia de hojas (vástagos) por lo que, de no presentarse plantas en el transecto, el valor de referencia tanto de Densidad como de *Labyrinthula* spp. debe ser NO Deseable (equivalente a 1).

Para la definición de los valores de referencia del ICTPM de la población de *Thalassia testudinum* (Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16) debido a que es la especie principalmente conformadora de las praderas en el Caribe colombiano. Para esto, se tuvieron en cuenta todos los datos colectados desde el 2012 hasta la fecha en los monitoreos de todas las estaciones del Caribe, construyendo las escalas a partir de percentiles asociados a cada categoría. Para ello, sólo se tuvieron en cuenta los datos de los transectos A y B, que sirven para dar seguimiento al crecimiento de plantas juveniles y zonas con mayor densidad a diferencia de los más alejados a la playa (transecto C), en los que las hojas suelen ser más largas, gruesas, y por lo general con una densidad más baja (plantas maduras), generando una variación en la distribución aparentemente homogénea del ecosistema.

**Tabla 14. Criterios de condición tendencia con respecto a la densidad (Vástagos/m<sup>2</sup>) para praderas de pastos marinos monoespecíficas o mixtas con mayor proporción de *Thalassia testudinum*.**

Condición general	Equivalente para el ICTPM	Densidad <i>T. testudinum</i> (vástagos/m <sup>2</sup> )
Deseable	5	>400
Bueno	4	400- 288,01
Regular	3	288 – 176,01
Alerta	2	176 – 96,01
No deseable	1	<96

## 5. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM

Tabla 15. Criterios de condición tendencia con respecto a la densidad (vástagos/m<sup>2</sup>) para praderas de pastos marinos mixtas dominadas por *Syringodium filiforme*.

Condición general	Equivalente para el ICTPM	Densidad <i>T. testudinum</i> (vástagos/m <sup>2</sup> )
Deseable	5	>240
Bueno	4	240- 144,1
Regular	3	144 – 96,1
Alerta	2	96 - 48
No deseable	1	<48

La Tabla 14 se utiliza para diferenciar praderas en las que predomina la *Thalassia testudinum* sobre cualquier otra especie de pasto marino y la Tabla 15 para las que *Syringodium filiforme* (u otra especie) predomina sobre la *Thalassia testudinum*. Esta última tabla es usada hasta el momento exclusivamente, para las praderas de pastos marinos la isla de Providencia.

Tabla 16. Escala de valoración preliminar de referencia para la afectación de *Labyrinthula* spp. del indicador de condición- tendencia pastos marinos- ICTPM

Condición general	Equivalente para el ICTPM	% de afectación por <i>Labyrinthula</i> spp.	% mortalidad /estación de muestreo
Deseable	5	< 30	0 - 5
Bueno	4	31 - 40	6-20
Regular	3	41 - 60	21 - 40
Alerta	2	61 - 89	41 - 70
No deseable	1	>90	71 - 100

Para el caso de los peces, los datos tomados en cada uno de los censos son sumados para cada especie y posteriormente totalizados a nivel de familia, dando un total de abundancia asociada al área de la estación (mínimo de 1250 a 2500 m<sup>2</sup>). El valor de abundancia es comparado con la tabla de referentes construida a parte de la información de línea base tomada en los monitoreos a lo largo de las localidades del Caribe (Tabla 17) y de La Guajira (Tabla 18) esta última por presentar solo unos tipos de especies, para de este modo dar una calificación según la presencia de cada una de las familias, siendo uno (1) la más baja - no deseable y cinco (5) la más alta - deseable.

## 5. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM

**Tabla 17. Tabla de referentes para la evaluación de abundancia de peces para cada una de las familias más representativas de las praderas de pastos marinos del Caribe.**

Abundancia (estación)	No deseable (1)	Alerta (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Deseable (5)
Labridae	$\leq 3$	3,1 - 7	7,1 - 14	14,1 - 31	$> 31$
Haemulidae	$\leq 2$	2,1 - 6	6,1 - 12	12,1 - 18	$> 18$
Acanthuridae	$\leq 2$	2,1 - 4	4,1 - 7	7,1 - 17	$> 17$
Lutjanidae	$\leq 2$	2,1 - 4	4,1 - 6	7,1 - 10	$> 10$

**Tabla 18. Tabla de referentes para la evaluación de abundancia de peces para cada una de las familias más representativas de las praderas de pastos marinos de La Guajira.**

Abundancia (estación)	No deseable (1)	Alerta (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Deseable (5)
Haemulidae	$\leq 3$	3,1 - 5	5,1 - 10	10,1 - 18	$> 18$
Labridae	$\leq 2$	2,1 - 3	3,1 - 6	6,1 - 12	$> 12$
Sparidae	$\leq 1$	1,1 - 3	3,1 - 5	5,1 - 17	$> 17$

A partir de la calificación de cada una de las familias, se realiza un promedio entre estos valores, generando un valor totalizado que corresponderá a la calificación de la abundancia de peces en el área. Dicho valor será comparado con la tabla nominal de la variable, para otorgarle una calificación de acuerdo con la Tabla 19.

**Tabla 19. Tablero nominal para el promedio de las calificaciones resultantes entre las 3 familias que se evalúan dentro del indicador de pastos marinos.**

Promedio 3 familias	Rangos
4,21 – 5,00	Deseable
3,41 – 4,20	Bueno
2,61 – 3,40	Regular
1,81 – 2,60	Alerta
1,00 – 1,80	No Deseable

De acuerdo a lo mostrado en la ecuación ejemplo (Ecuación 1), cabe aclarar que la variable asociada a los grupos tróficos de invertebrados (herbívoros, carnívoros y detritívoros/omnívoros) se encuentra aún en construcción y posterior validación, razón por la cual, aún no se cuenta con la ecuación general; sin embargo, se mantiene la toma de datos de

**5. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM**

forma periódica para generar mayor certidumbre en los rangos ya establecidos, para que puedan determinar de manera óptima los cambios en la condición de cada una de las áreas evaluadas.

El ICTPM al ser un indicador compuesto integra cuatro variables establecidas para su estimación por medio de la función de promedio aritmético. Para esto se utilizan los valores de 1 a 5 obtenidos de llevar los valores promedio en campo por estación a la variable específica y cambiarlos por el valor adimensional según la condición identificada y estos se llevan a la fórmula:

$$ICTPM = \frac{\text{Densidad} + \text{Labyrinthula spp.} + \text{Peces}}{3}$$

Para obtener la calificación de condición general de integridad de la pradera de pastos, el valor obtenido del ICTPM se clasifica según la escala que se presenta en la Tabla 20. Los pastos marinos evaluados más deteriorados (condición general de integridad biótica en Regular, Alerta y No Deseable) obtendrán los valores más bajos (1,00 - 3,40) y las más conservadas (condición general de integridad biótica buena y deseable) los valores más altos (>3,41–5,00).

**Tabla 20. Escala ejemplo de valoración integral del indicador de condición-tendencia de pastos marinos – ICTPM.**

Condición general de condición tendencia en pastos marinos	Valor ICTPM
Deseable	4,11-5,00
Buena	3,31-4,10
Regular	2,61-3,30
Alerta	1,81-2,60
No deseable	1,00-1,80

**Fuente de los datos e información**

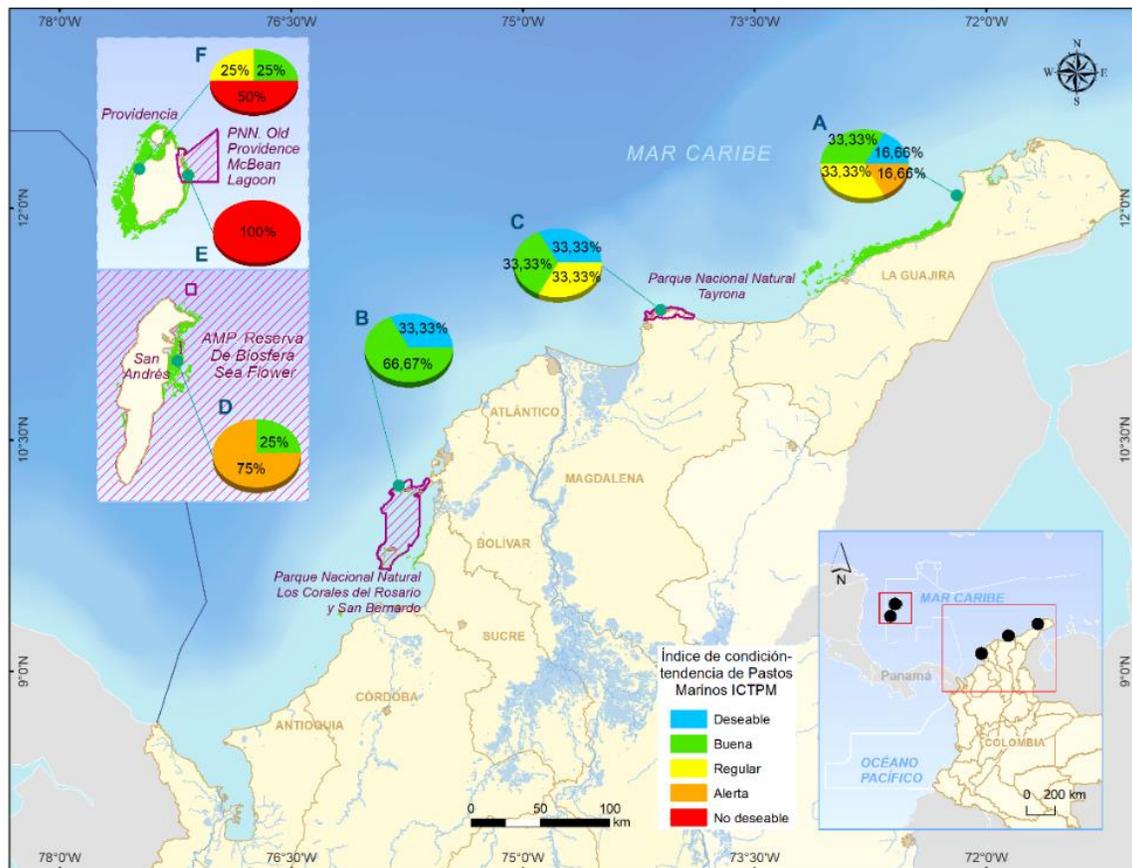
Los resultados que aquí se presentan corresponden a los obtenidos de los monitoreos históricos en cada una de las siguientes áreas marinas: Caribe continental PNN Tayrona, PNN Corales del Rosario y San Bernardo y La Guajira.

**Periodo reportado**

El periodo reportado corresponde a la información obtenida y analizada en el año 2023.

**Reporte o cálculo del indicador**

La Figura 38 presenta las estaciones distribuidas las localidades de la región Caribe continental e insular. Los gráficos en los mapas muestran el porcentaje de estaciones que registraron cada condición del indicador, lo que brinda una visión del comportamiento de cada localidad. Se puede observar que este comportamiento no es uniforme y varía según la ubicación y las características específicas de cada estación.



**Figura 38. Estaciones de monitoreo de pastos marinos y el estado de sus estaciones según el indicador de condición-tendencia ICTPM Densidad de vástagos en el Caribe colombiano durante el 2023. A Guajira (Cabo Nuevo, Cabo playa, Carrizal, Ahuyama, Manaure, Ballena) B) PNN Corales del Rosario y San Bernardo (Rosario, Isla Mangle y Playa Blanca) C) PNN Tayrona (Chengue, Neguanje y Cinto) D) San Andrés (Isleño, Cotton Cay, Mar Azul, Old Point) E) PNN Old Providence McBean Lagoon (Oyster Creek) F) Providencia (Camp, San Felipe, McBean, Smooth Water)**

Para mostrar los resultados del ICTPM se hace un promedio general de las estaciones para llegar a un resultado por localidad, por lo cual, lo que se representa con este indicador es una generalidad para toda el área. Para una referencia de los resultados obtenidos, se presenta un desglose del comportamiento de cada variable del indicador por área para el año 2023 (Tabla 21) con el fin de poder interpretar con mayor facilidad la tendencia de la Figura 39.

Tabla 21. Condición de estado según el ICTPM de los valores registrados para cada una de las variables del índice, observadas por áreas de la región Caribe continental en el año 2023. Representación de los colores así: azul: Deseable, verde: Buena, am

2023	Densidad de vástagos (vástagos/m <sup>2</sup> )	Abundancia de peces	<i>Labyrinthula</i> spp.
PNN Old Providence McBean Lagoon	248,66	1,5	0
Providencia*	123,83	2,25	0
San Andrés	363,33	2,38	0
PNN Tayrona	280	3	0
PNN Corales de Rosario y San Bernardo	263,77	3,75	0
Guajira	248,22	3,06	0

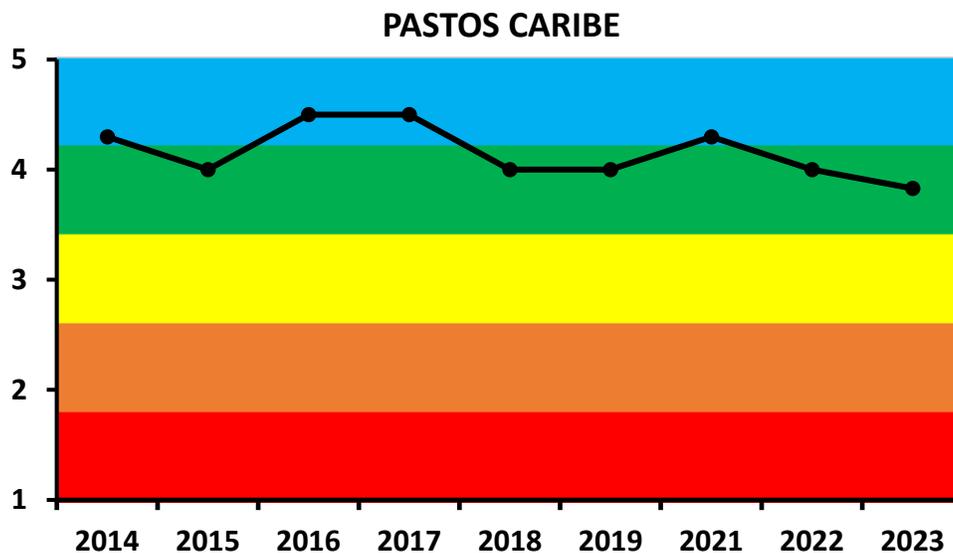


Figura 39. Tendencia promedio general observada a través del tiempo de las condiciones ICTPM observadas en la totalidad de las estaciones de la región Caribe entre los años 2014 y 2023. Representación de los colores así: azul: Regular, naranja: Alerta y rojo: No Deseable.

5. Indicador de condición tendencia de pastos marinos ICTPM
<b>Interpretación de los resultados</b>
<p>Las gráficas incluidas en el mapa (Figura 38) muestran el porcentaje calificaciones del ICTPM para el año 2023 en el sector continental entre estas se incluyen, 3 estaciones del Tayrona, 2 del sector de islas del Rosario, 1 estación del sector de islas de San Bernardo, 6 de Guajira y en el sector Insular 5 estaciones en la Isla Providencia y 4 en la Isla de San Andrés.</p> <p>La permite entender mejor la razón por la cual se califica la condición del ICPM para las distintas áreas, ya que presenta los valores obtenidos para cada variable y el color representa su condición. Se observa que la calificación predominante es "Regular", con densidades que oscilan entre 123,83 y 280 vástagos/m<sup>2</sup> en todas las áreas de monitoreo, excepto en San Andrés, donde se registró el valor más alto (363,33 vástagos/m<sup>2</sup>) en todo el Caribe. La abundancia de peces, por otro lado, ha sido afectada por una variedad de factores tanto antropogénicos como naturales. En algunas áreas, como en el sector de Guajira, se ha identificado una presión considerable debido a la sobrepesca con artes de pesca, lo que ha resultado en una disminución en la abundancia de peces. En el caso del sector de Providencia, durante la campaña de monitoreo se enfrentaron a lluvias constantes que dificultaron la visualización de especímenes debido al aumento de la turbidez del agua, lo que afectó negativamente el conteo de peces, especialmente en el área del PNN Old Providence McBean Lagoon. En cuanto a la presencia del hongo, no se registraron efectos adversos en ninguna de las áreas evaluadas.</p> <p>En lo que respecta a la tendencia histórica del ICTPM promedio en todas las áreas del Caribe, se observa un ligero descenso en los resultados obtenidos. Estos resultados se han mantenido en los rangos correspondientes a las calificaciones "Deseable" y "Buena". Estos valores pueden variar por cambios en los atributos evaluados, que pueden ser dinámicos según la temporada de monitoreo, y por el número de estaciones evaluadas cada año o por impactos de distinto origen que puedan darse a nivel local o regional sobre las áreas evaluadas.</p>
<b>Limitaciones del indicador</b>
<p>El indicador es sensible a la variabilidad en la presencia o ausencia de peces observados, por al azar, a la historia de vida de las especies o a las condiciones climáticas locales que limitarían la visibilidad incluso para realizar el conteo de vástagos y de fauna asociada.</p>

## Manglares

Los manglares están conformados por un componente arbóreo y arbustivo (mangles) que coloniza la línea de costa a lo largo de las zonas tropicales y subtropicales del planeta (Woodroffe *et al.*, 2016); las especies de mangle presentan una serie de adaptaciones morfológicas, fisiológicas y reproductivas que les permite establecerse y crecer en suelos inundados, lodosos e inestables, con bajas concentraciones de oxígeno y amplias fluctuaciones de salinidad y mareas (Saenger, 2002a). Se distribuyen entre los 30° Norte y 30° Sur de Latitud (Giri *et al.*, 2011), a orillas de bahías, lagunas costeras, canales de mareas, desembocaduras de ríos, zonas pantanosas y estuarinas, desde una estrecha franja de pocos metros de ancho, hasta densos bosques de cientos de hectáreas (Díaz, 2011). Se cree que su distribución global está delimitada por las grandes corrientes oceánicas y la isoterma marina de 20°C de invierno (Alongi, 2009), no obstante, estudios y evidencias recientes demuestran que algunos manglares, en respuesta al cambio climático y al aumento de la temperatura del mar, han colonizado las costas de latitudes más al norte y al sur (Yañez-Arancibia *et al.* 2014; Kelleway *et al.*, 2017), como es el caso de los manglares en el Golfo de México, que se han extendido hasta la costa Atlántica de la Península de Florida y el Estado de Texas, llegando a considerarse como un "ecosistema-centinela" frente al impacto del cambio climático en el Golfo de México (Yañez-Arancibia *et al.* 2014).

Los manglares desempeñan una función ecológica muy importante en la zona intermareal, donde los aportes hídricos del sistema provienen principalmente del mar, los ríos y la escorrentía del continente, ya que actúan como filtro natural de las descargas continentales, protegiendo a otros ecosistemas asociados como pastos marinos y arrecifes de coral (Ellison, 2012; Avendaño *et al.*, 2019) y, son hábitat de crianza, refugio, anidación y alimentación de aves, reptiles y anfibios. Estos ecosistemas, generan una serie de bienes y servicios ecosistémicos que incluyen: la mitigación de la

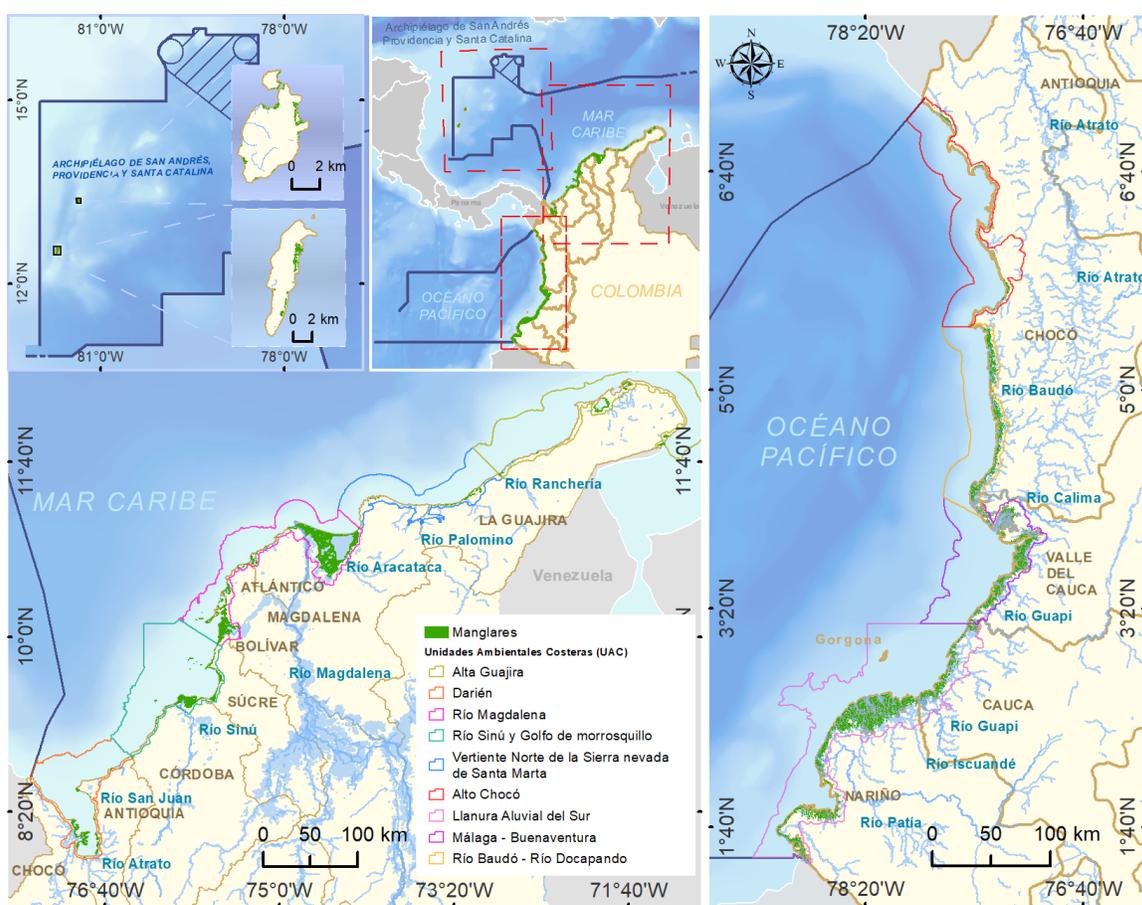
erosión costera al reducir la energía del oleaje; la retención, fijación, estabilización y acreción del suelo, aumentando la resiliencia de la zona costera frente a escenarios de cambio climático (Woodroffe *et al.*, 2016); la regulación del microclima (Field, 1997); la protección de las comunidades costeras de la acción de los huracanes, marejadas y tsunamis (Alongi, 2008); el abastecimiento de una amplia variedad de productos maderables y no maderables a las poblaciones locales que dependen de ellos (FAO y PNUMA, 2020) y, son considerados sumideros de carbono, principalmente a nivel de subsuelo (Donato *et al.*, 2011; Alongi, 2012, Spalding y Leal, 2021). Los manglares y humedales costeros se consideran indispensables para mitigar gases efecto invernadero y adaptar al cambio climático. Desde el año 2015, han sido considerados dentro de los ecosistemas carbono azul, en conjunto con los pastos marinos, los cuales, en Colombia sólo se encuentran distribuidos en el Caribe continental e insular y, las marismas, las cuales no se presentan en Colombia.

Los manglares de Colombia, de acuerdo con Sierra-Correa y Cantera (2015), son uno de los ecosistemas más saludables del continente americano, ya que han presentado cambios de apenas el 0,14% (Hamilton y Casey, 2016). No obstante, no dejan de ser vulnerables a las intervenciones humanas, como el cambio en el uso del suelo para la expansión de la frontera urbana, agropecuaria e industrial; la extracción de recursos naturales para el consumo y comercio y, la exposición a sustancias contaminantes producto de derrames incidentales en la zona costera, que ocasionan en conjunto la pérdida de biomasa y cobertura vegetal, la formación de playones salinos, la desaparición de nichos ecológicos y la disminución de la biodiversidad (Ulloa-Delgado *et al.*, 1998; Villamil, 2014; Minambiente e INVEMAR, 2015). Tampoco dejan de ser vulnerables a la variabilidad climática y cambio climático, que en las últimas décadas han dejado en evidencia un aumento en la frecuencia e intensidad de las inundaciones y tormentas (Lacambra *et al.*, 2003; DesInventar, 2015) y que amenazan con una tendencia lineal de aumento relativo del nivel del mar (INVEMAR, 2003; Giri *et al.*, 2011); una estimación realizada en el año 2010 para la costa Caribe de Colombia, indicó un aumento de 2,3 mm/año y para la costa del Pacífico de 1,4 mm/año (CEPAL, 2011; IDEAM *et al.* 2017).

### Localización y distribución

En Colombia, los manglares se distribuyen sobre el litoral del océano Pacífico y, sobre la costa y zona insular del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el mar Caribe (Figura 40), con una cobertura de alrededor de 200.218,24 y 75.178,51 ha en el Pacífico y Caribe, respectivamente (INVEMAR, 2024b).

En el Caribe colombiano, se encuentran seis de las nueve especies de mangle registradas actualmente para el país (Tabla 22) (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2022), de las cuales, *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), son las más abundantes y frecuentes; seguidas por *Conocarpus erectus* (mangle zaragoza) y la distribución registrada del mangle piñuelo perteneciente al género *Pelliciera*, anteriormente monotípico y recientemente dividido en dos especies que actualmente han sido reconocidas en el Caribe colombiano: *P. rhizophorae* y *P. benthamii* (Duke, 2020; Blanco-Libreros y Ramírez-Ruiz, 2021; Torres *et al.*, 2024).



**Figura 40.** Distribución de los manglares en Colombia en el litoral Caribe, en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y en el litoral Pacífico. Esta imagen es una representación gráfica de la ubicación de los manglares en el país y los límites de las Unidades Ambientales Costeras, y tiene únicamente fines ilustrativos (Imagen elaborada por LABSIS-INVEMAR en 2023).

De acuerdo con el estudio de Duke (2020), quien revisó la historia sistemática del género *Pelliciera* mediante evaluaciones minuciosas de las observaciones disponibles y la realizó la reevaluación del estado taxonómico actual del género, fue reconocido recientemente que el género *Pelliciera* tiene dos especies estrechamente relacionadas, descritas como *P. benthamii* y una redefinición de *P. rhizophorae*. Cabe resaltar que las dos especies de *Pelliciera* tienen una distribución restringida en algunos sectores de los departamentos de Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia en el Caribe colombiano (Calderón-Sáenz, 1982, 1983, 1984; Leyton y Delgado, 1994; Ramírez, 2001, 2012; Blanco-Libreros y Ramírez-Ruiz, 2021; Castillo-Cárdenas et al., 2015; Duke, 2020; Blanco-Libreros y Ramírez-Ruiz, 2021; Torres et al., 2024). *Pelliciera* spp. se encuentra catalogada como “Vulnerable-VU” de acuerdo con la Lista Roja de la UICN (Ellison et al., 2010) y es un género que presenta una distribución relativamente restringida en el centro y norte de América del Sur en la región del Atlántico-Pacífico oriental (Duke, 2020).

En el Pacífico colombiano, además de las especies mencionadas para el Caribe, se hallan *Rhizophora racemosa* (mangle pava o caballero), *Rhizophora harrisonii* (mangle injerto) y *Mora oleifera* (mangle nato) (Resolución 1263 de 2018 Minambiente); esta última especie catalogada como “Vulnerable-

VU” en la Lista Roja de la UICN (Duke, 2010), debido a problemáticas relacionadas con el desarrollo comercial y urbanístico. Otras especies vegetales de helechos y arbustos, a menudo conocidas como manglares no verdaderos (Tomlinson, 1986), suelen aparecer como flora acompañante en este ecosistema; entre las especies reportadas, se encuentra el helecho *Achrostichum aureum* y el arbusto *Tabebuia palustris* (Spalding et al., 2010). En el Caribe colombiano el 36% de los bosques de manglar se encuentran dentro de diferentes categorías de conservación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) y para el Pacífico el 38%.

**Tabla 22. Distribución de las especies de mangle en el Caribe y Pacífico colombiano. Datos tomados de Sánchez-Páez et al. (1997); Spalding et al. (2010), Duke, 2020; Blanco-Libreros y Ramírez-Ruiz, 2021; Rodríguez-Rodríguez et al., 2022). SAI: Archipié**

FAMILIA	ESPECIE DE MANGLE	LITORAL CARIBE								LITORAL PACÍFICO			
		SAI	GUA	MAG	ATL	BOL	SUC	COR	ANT	CHO	VCAU	CAU	NAR
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	<i>Rhizophora harrisonii</i> *								X	X	X	X	X
	<i>Rhizophora racemosa</i>									X <sup>NC</sup>	X <sup>NC</sup>	X <sup>NC</sup>	X <sup>NC</sup>
Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	<i>Conocarpus erectus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Acanthaceae**	<i>Avicennia germinans</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tetrameristaceae**	<i>Pelliciera rhizophorae</i> **								X	X	X	X	X
	<i>Pelliciera benthamii</i> ***					X	X	X					
Caesalpiniaceae	<i>Mora oleifera</i>									X	X	X	X

\* Especie de mangle híbrida de acuerdo con Duke (1992) y Beentje *et al.* (2007).

\*\* Familias de acuerdo con la actual clasificación en The Plant List (2013) y Trópicos (2018).

\*\*\* Presencia de la especie en el golfo de Urabá determinada a partir de una imagen de la flor (Duke, 2020 basado en Blanco-Libreros *et al.*, 2015 y Blanco-Libreros, pers. comm. 2020).

\*\*\*\* Nuevo registro de la especie reciente del género *Pelliciera* (antes monotípico), de acuerdo con Duke (2020) basado en distintas fuentes de información en el Caribe colombiano (Calderón-Sáenz, 1982, 1983, 1984; Castillo-Cárdenas *et al.*, 2015).

6. Indicador de condición-tendencia de bosques de manglar – ICTBM

Definición e importancia del indicador

El indicador de condición tendencia de bosques de manglar (ICT<sub>BM</sub>) evalúa la condición general de integridad biótica, estado de conservación de los manglares y sus cambios a través del tiempo, por medio de la incorporación de la información de cuatro variables en un sólo valor numérico (Navarrete-Ramírez y Rodríguez-Rincón, 2014). El ICT<sub>BM</sub> tiene incorporado en su concepción una variable que permite de manera indirecta, entender la función ecológica del ecosistema, mediante la presencia de aves a partir de los gremios tróficos indicadores u otro organismo seleccionado; a diferencia del indicador de integridad biológica de manglares (IBIm), expuesto anteriormente y aplicado exclusivamente en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Otras de las variables que componen el ICT<sub>BM</sub>, miden atributos estructurales del componente arbóreo (*i.e.* densidad de árboles y área basal del bosque) y evalúan la dinámica poblacional del bosque (*i.e.*, mediante el reclutamiento o regeneración natural: densidad de propágulos y plántulas). El ICT<sub>BM</sub> al ser un indicador compuesto, integra la relación entre cada una de estas variables, con su respectivo valor de referencia (ecuación 1). El peso o factor de ponderación que aporta cada variable es diferente en cada una de las variables (Tabla 23). No obstante, el atributo de especies de aves como indicador, se encuentra en construcción, el ICT<sub>BM</sub> no puede calcularse en su totalidad. Los valores de referencia se construyeron a partir de la información colectada por INVEMAR en los diferentes bosques de manglar de la región Caribe desde 2016 hasta el 2023, los datos se dividieron en cuartiles con igual ponderación para cada categoría de calificación y se obtuvieron los límites de referencia entre el valor mínimo y máximo de cada cuartil para un total de cinco categorías (Tabla 24). La importancia del ICT<sub>BM</sub> radica en la fácil aplicabilidad que tendrá en los monitoreos de manglares de Colombia y en que los resultados darán un aporte significativo al conocimiento del estado de salud y conservación del ecosistema de manglar a través del tiempo.

La formulación (ecuación 1) preliminar del indicador se describe a continuación:

$$ICT_{bm} = \sum_i^n (x_i w_i)$$

$$ICT_{bm} = (D \times 35\%) + (AB \times 35\%) + (PI \times 20\%) + (Pr \times 10\%) + (Av)$$

Donde

D = Densidad de árboles

AB = Área basal

PI = Densidad de plántulas

Pr = Densidad de propágulos

Av = Especies de aves indicadoras de la salud del manglar

Vref = Valor de referencia

Tabla 23. Ponderación para las variables que componen el indicador de condición tendencia de bosques de manglar – ICTBM. En proceso de desarrollo.

Peso de las variables del ICT <sub>BM</sub>	
Densidad de árboles (D)	0,35
Área basal (AB)	0,35
Densidad de plántulas (PI)	0,2
Densidad de propágulos (Pr)	0,1

**Tabla 24. Valores de referencia para las variables, que componen el indicador de condición tendencia de bosques de manglar – ICTBM del Caribe colombiano.**

Variables	No deseable	Alerta	Regular	Bueno	Deseable
Densidad (D)	< 549	549,1 - 846	846,1 - 1227	1227,1 - 1867	> 1867,1
Área Basal (AB)	< 8,3	8,4 - 12,2	12,3 - 15,5	15,6 - 19,9	> 20
Plántulas (PI)	< 2,5	2,6 - 4,8	4,9 - 8,5	8,6 - 149	> 15
Propágulos (Pr)	< 1,7	1,8 - 2,7	2,8 - 4,7	4,8 - 8,5	> 8,6

Para obtener la calificación de condición general del bosque de manglar evaluado, el valor obtenido para el ICT<sub>BM</sub> se clasificará según la escala de valores que se presenta en la Tabla 25. Para la interpretación adecuada del indicador, es indispensable contar con información complementaria del manglar, como las condiciones de inundación del sistema, la salinidad de las aguas superficiales e intersticiales asociadas al manglar y los posibles agentes de degradación que sean evidenciados durante los monitoreos o que hayan sido reportados antes del monitoreo por las personas de la comunidad; con el fin de tener un panorama más general y comprender la clasificación obtenida del indicador, en cualquiera de sus condiciones: Deseable, Buena, Regular, Alerta o No deseable (Tabla 25).

**Tabla 25. Escala general del indicador de condición tendencia de bosques de manglar – ICTBM. Actualmente no se encuentra la variable de función (aves) que se encuentra en proceso de revisión.**

Categoría	ICTbm calculado
No deseable	1 - 1,8
Alerta	1,81 - 2,6
Regular	2,61 - 3,4
Bueno	3,41 - 4,2
Deseable	4,21 - 5

#### Fuente de los datos e información

Los resultados y análisis del ICT<sub>BM</sub> en los bosques de manglar de las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina que aquí se presentan, corresponden a los monitoreos realizados en el marco de los Convenios Especiales de Cooperación suscritos con la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina-CORALINA, entre 2016 y 2023, cuya información está almacenada en la base de datos del Sistema de Información para la Gestión de los Manglares en Colombia (SIGMA) que administra el INVEMAR.

#### Periodo reportado

- 1) El periodo de análisis de los datos de los manglares de San Andrés, contempla los años 2016, 2019, 2020, 2021 y 2023, en siete estaciones de monitoreo. No obstante, en el 2020, debido al paso del huracán IOTA, no fue posible realizar el monitoreo en tres estaciones: bahía Hooker, bahía Honda y Cove.
- 2) El periodo de análisis de los datos de los manglares de Providencia y Santa Catalina, contempla los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2023 en cuatro estaciones de monitoreo.

#### Reporte o cálculo del indicador

En la Figura 41 se muestra la cobertura de manglar en las islas de San Andrés y Providencia y Santa Catalina. Los gráficos de pastel indican el porcentaje de acuerdo al ICT<sub>BM</sub>, que reflejó el comportamiento en las estaciones. En la Figura 42, se presentaron los cambios en el tiempo, deL ITC<sub>BM</sub>, dentro de cada una de las estaciones de monitoreo de manglar de las tres islas principales del Archipiélago.

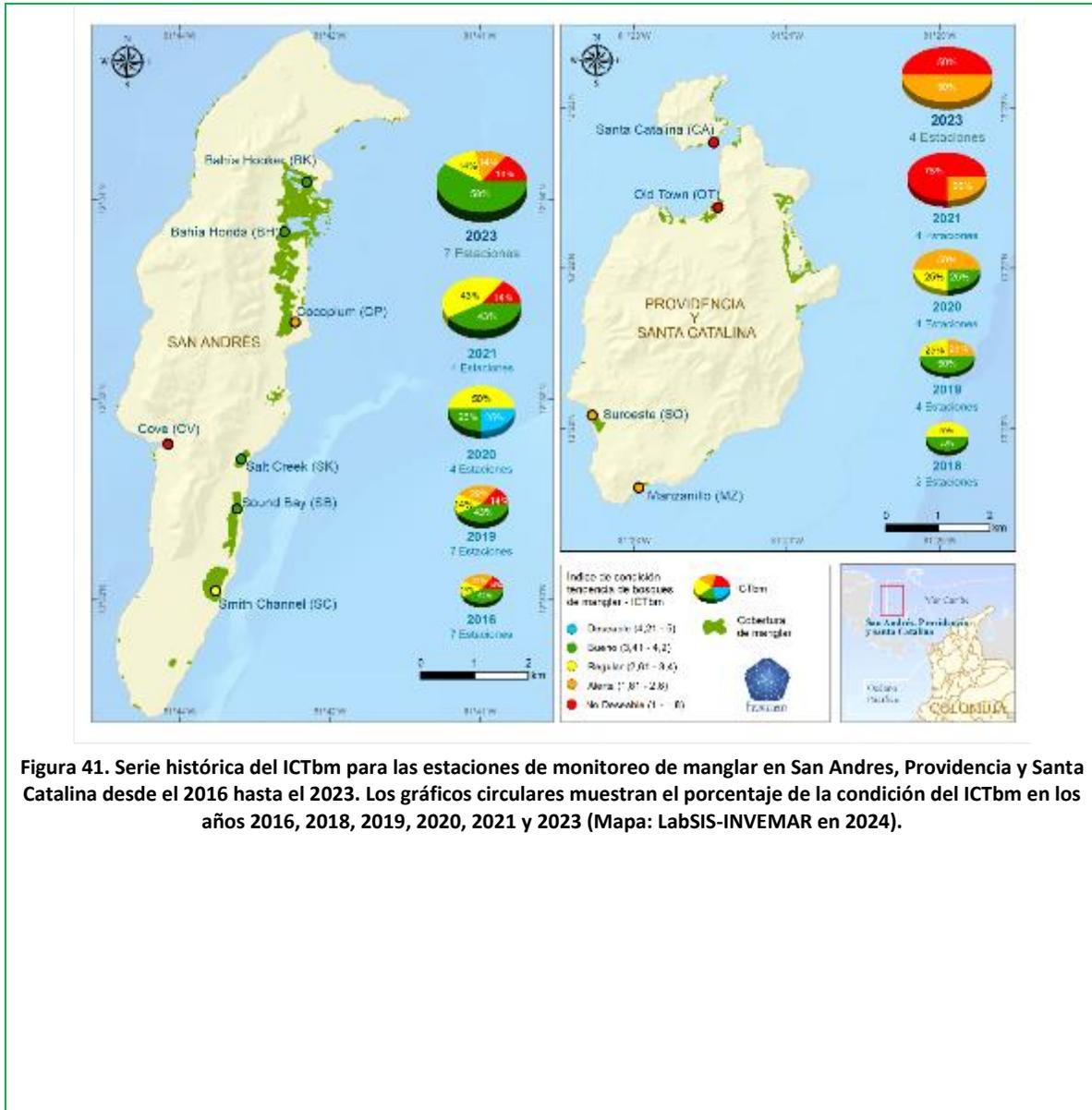


Figura 41. Serie histórica del ICTbm para las estaciones de monitoreo de manglar en San Andrés, Providencia y Santa Catalina desde el 2016 hasta el 2023. Los gráficos circulares muestran el porcentaje de la condición del ICTbm en los años 2016, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2023 (Mapa: LabSIS-INVEMAR en 2024).

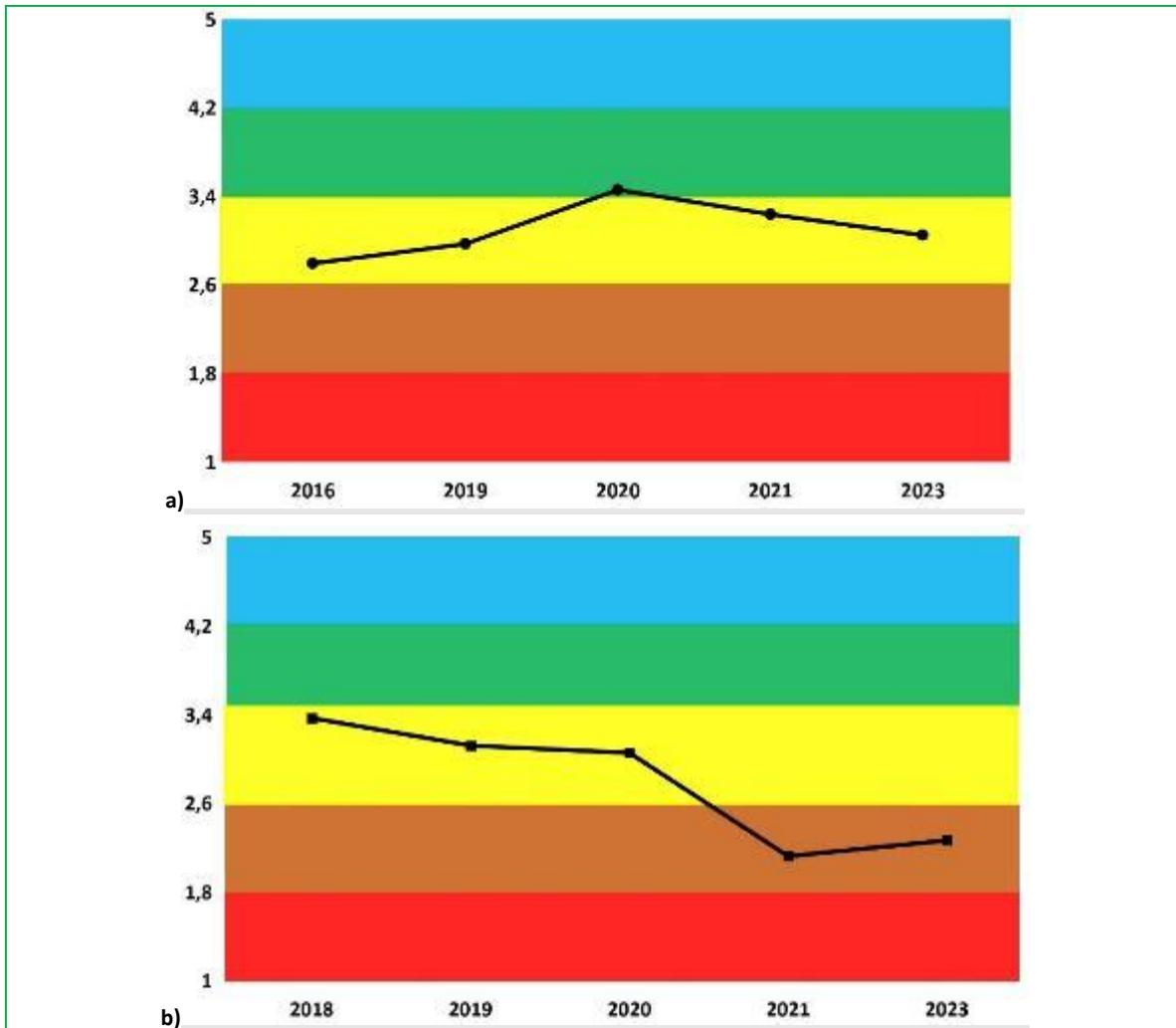


Figura 42. Tendencia histórica de la condición del ICTbm en las estaciones de monitoreo de a) San Andrés entre 2016-2023 y b) Providencia y Santa Catalina entre 2018-2023. Los colores corresponden a la calificación de la condición de acuerdo con los valores de referencia: Azul: Deseable; Verde: Bueno; Amarillo: Regular; Anaranjado: Alerta y Rojo: No Deseable.

#### Interpretación de los resultados

De acuerdo al histórico observado del ICTbm en la Figura 41, en la isla de San Andrés entre 2016 y 2023 se evidenció que las estaciones se encontraron entre la condición No Deseable a Bueno, con los mayores porcentajes para Bueno entre el 43% y 57%. La condición de Regular fue mayor únicamente en el 2020. En general, las estaciones presentaron una condición Buena y Deseable para Área basal hasta el año 2021. En el 2023 cambió esta tendencia, encontrando condiciones de Alerta y Regular relacionadas con los efectos acumulativos del huracán Iota (2020) y Julia (2022), que conllevo a la caída de árboles principalmente en las estaciones del sur (INVEMAR-CORALINA, 2022). El Cove es la única estación que ha mantenido una condición entre No deseable y Alerta para el área basal. La densidad de árboles ha presentado un comportamiento heterogéneo tanto entre años como entre estaciones, que ha sido ocasionado por la caída de árboles de manera natural por pérdida de la estabilidad del suelo y el paso de los huracanes que han inclinado los árboles y ha ocasionado caídas de los mismos. La disponibilidad de propágulos y plántulas obtuvieron condiciones de No deseable y Alerta en las estaciones que se encuentran al sur de la isla (Sound Bay, Smith Channel, Cocoplum y El Cove); mientras que, los manglares al norte de la isla (bahía Honda y Hooker) obtuvieron una tendencia a mejorar la condición de Regular a Bueno o Deseable. La densidad de propágulos es el recurso con menor disponibilidad y con los más bajos

valores dentro del ICT<sub>BM</sub>. Es importante tener en cuenta que para el año 2020 no fue posible monitorear los manglares de tres estaciones (bahía Hooker, bahía Honda y Cove), debido al paso del huracán IOTA, que coincidió precisamente con los días de monitoreo de esas estaciones (INVEMAR-CORALINA, 2020).

La isla de Providencia ha presentado un deterioro en la condición-tendencia del bosque de manglar desde el 2018 al 2023. De esta manera, la estación de Manzanillo presentó una clasificación de Deseable para el área basal y densidad; Suroeste obtuvo una clasificación de Bueno y Regular, respectivamente (CORALINA-INVEMAR, 2018); por otro lado, la regeneración en ambas estaciones obtuvo una condición No deseable. En el 2019 se agregaron las estaciones Old Town y Santa Catalina (Rojas-Aguirre, et al., 2019), que se clasificaron en Alerta y Regular, respectivamente para densidad y área basal; a su vez, la regeneración presentó diferentes calificativos, donde Manzanillo fue el más bajo (No deseable) y Santa Catalina el mejor (Deseable), tanto para densidad de propágulos como de plántulas para ambas estaciones. En términos generales, el Archipiélago ha mostrado en los monitoreos realizados desde el 2016 una baja producción de propágulos y plántulas, que sumado a que las estaciones del sur, Smith Channel, Salt Creek, Sound Bay y Cocoplum permanecen inundadas en la época de lluvias (cita precipitación), lo cual dispersa e impide el registro de propágulos, la cual es la condición con la menor calificación.

Figura 42 a se encuentra la tendencia del ICT<sub>BM</sub> para las estaciones de San Andrés que reflejaron una categoría de Regular, excepto en el 2020 que se registró un incremento a Buen estado. La disminución del índice en el 2021 y 2023 se relacionó con el paso de los huracanes ETA, IOTA y Julia que generó un deterioro en el bosque por caídas de árboles (INVEMAR-Coralina, 2022; Herrera-Fajardo et al., 2023). La estación de El Cove es la que presentó la menor condición (No deseable) en el periodo 2016-2023, principalmente por los tensores antrópicos por la presencia de residuos sólidos que llegan por efecto de marea y la existencia de una porqueriza cerca al bosque de manglar que ha conllevado al deterioro del bosque (INVEMAR-CORALINA, 2016). Por el contrario, la estación de Salt Creek obtuvo el mejor calificativo (Bueno) para el mismo periodo de tiempo, en donde las variables de densidad y área basal fueron las que contribuyeron principalmente.

Por otro lado, la Figura 42 b se encuentra la tendencia del ICT<sub>BM</sub> en la isla de Providencia y Santa Catalina. De manera general, se evidenció que las estaciones mantuvieron estables en la condición Regular durante el periodo de 2018 a 2020; sin embargo, en el 2021 y 2023 el comportamiento disminuyó a la categoría Alerta, debido a los efectos y daños que se ocasionaron por el paso de los huracanes ETA e IOTA (INVEMAR-CORALINA, 2020). La estación que mayor impacto tuvo fue Old Town y Santa Catalina que se mantuvo en No deseable; mientras que Manzanillo y Suroeste en Alerta.

#### Limitaciones del indicador

La formulación y aplicación completa del ICT<sub>BM</sub>, se encuentra actualmente desarrollada para la parte estructural y de regeneración natural del bosque. Para el atributo de función del ecosistema con las especies de aves, se encuentra en construcción para evaluar los valores de referencia. En cuanto a la regeneración natural, es importante resaltar que los monitoreos llevados cabo desde el 2016 se han realizado en época de lluvias (segundo semestre), limitando la visualización del comportamiento en época seca de la estructura y especialmente de plántulas y propágulos por los niveles de inundación en las estaciones de Cocoplum, Smith Channel, Sound Bay y Salt Creek.

#### Recomendaciones y alternativas de manejo

El indicador ICT<sub>BM</sub> fue diseñado para determinar de una manera simple, pero holística, en qué estado se encuentra el ecosistema de manglar en Colombia, teniendo en cuenta principalmente variables conspicuas. Para ello, se realizó, el protocolo de evaluación en campo, para identificar las variables que integran el indicador y aquellas complementarias que ayudan en conjunto a evaluar el estado del ecosistema, en términos de su estructura y función. No obstante, como cualquier sistema de monitoreo, se requiere una continua verificación, así como una revisión y ajuste periódico de los valores de referencia, con el fin de que el indicador esté acorde con las necesidades o preguntas de fondo para la gestión, que surjan por parte de quienes lo implementan. Es imperante continuar con el levantamiento de información asociada al reclutamiento de los manglares y a las aves indicadoras del estado de salud del manglar, en varias regiones del país, para seguir alimentando la base de datos que ayudará a establecer y definir los valores de referencia de estas variables del ICT<sub>BM</sub>.

7. Indicador de Integridad biológica de Manglares – IBI<sub>m</sub> para la Ciénaga Grande de Santa Marta

Definición e importancia del indicador

El indicador de integridad biológica del manglar (IBI<sub>m</sub>) fue diseñado a partir de los conceptos propuestos por Karr (1991) y Campbell (2000) y al desarrollo conjunto con expertos en el ecosistema. Este indicador tiene como finalidad reflejar la capacidad del sistema para mantener sus atributos estructurales y funcionales, como ocurriría si el sistema evaluado se hallara en un estado de referencia, y en cuyo valor máximo la red de procesos y componentes esté completa y funcionando óptimamente. Con los datos que han sido tomados en el marco del programa de monitoreo de la CGSM, el IBI<sub>m</sub> fue calibrado y ajustado para esta región en particular, partiendo del uso de variables relacionadas con la estructura arbórea, la dinámica poblacional y la salinidad de las aguas asociadas al bosque de mangle. De este modo, aunque el IBI<sub>m</sub> esté siendo trabajado e interpretado a partir de los elementos que lo conforman aún es necesario incorporar variable(s) que permitan establecer la función de ecosistema y así tener un indicador que sea reflejo del estado general del ecosistema.

El cálculo de este indicador muestra al grado de estabilidad de los bosques y su vulnerabilidad frente a los tensores. Este hecho es crucial a la hora de proponer medidas de manejo y conservación, implementar proyectos de rehabilitación o restauración y al evaluar el éxito de las medidas implementadas.

El cálculo del IBI<sub>m</sub> se basa en variables simples asociadas a atributos de integridad (composición, estructura y variables abióticas), los cuales se integran con ponderaciones definidas de acuerdo con funciones de promedio geométrico ponderado y posterior validación con expertos. El cálculo se realiza para cada tipo fisiográfico y los valores obtenidos en campo son cotejados con los rangos de referencia para establecer los subíndices correspondientes (Tabla 26). La formulación del indicador se describe a continuación:

$$IBI_m = \left( \prod_{i=1}^n x_i^{a_i} \right)^{\frac{1}{\sum a_i}}$$

$$IBI_m = \left( D_{(sp1)}^{0.2(62.5\%)} \times D_{(sp2)}^{0.2(25\%)} \times D_{(sp3)}^{0.2(12.5\%)} \times AB_{(sp1)}^{0.3(62.5\%)} \times AB_{(sp2)}^{0.3(25\%)} \times AB_{(sp3)}^{0.3(12.5\%)} \times S^{0.15} \times PL^{0.0875} \times PR^{0.0875} \right)^{\frac{1}{\sum pesos}}$$

Donde:

**D<sub>s<sub>pn</sub></sub>**= subíndice de densidad para la especie n.

**AB<sub>s<sub>pn</sub></sub>**= subíndice de área basal para la especie n

**S**= subíndice de salinidad

**PL**= subíndice de plántulas

**PR**= subíndice de propágulos

## 7. Indicador de Integridad biológica de Manglares – IBIm para la Ciénaga Grande de Santa Marta

**Tabla 26. Intervalos de referencia para calcular el IBIm para la Ciénaga Grande de Santa Marta. Los intervalos se construyeron para cada variable, teniendo en cuenta reportes de diferentes fuentes bibliográficas y de los mismos datos obtenidos en el proyecto de monitoreo de bosque de mangle de la Ciénaga grande de Santa Marta**

Tipo fisiográfico	Salinidad	S	Densidad (ind/ha)	S	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	S	Plántulas (plant/m <sup>2</sup> )	S	Propágulos (prop/m <sup>2</sup> )	S
Cuenca	x<30	5	<564	1	x<2,2	1	x<0,865	1	x<3,17	1
	30<x≤38,4	4	564<x≤669	3	2,2<x≤4,2	2	0,865<x≤2,16	2	3,17<x≤8,11	2
	38,4<x≤46,7	3	669<x≤1210	5	4,2<x≤7,7	3	2,16<x≤3,4	3	8,11<x≤16,78	3
	46,7<x≤55	2	1210<x≤1812	4	7,7<x≤15,9	4	3,4<x≤7,13	4	16,78<x≤37,19	4
	>55	1	>1812	2	>15,9	5	>7,13	5	>37,19	5
Ribereño	x<10	5	<564	1	x<9	1	Por definir*			
	10<x≤16,70	4	564<x≤669	3	9<x≤17	2				
	16,7<x≤23,3	3	669<x≤1210	5	17<x≤25	3				
	23,3<x≤30	2	1.210<x≤1812	4	25<x≤30	4				
	>30	1	>1812	2	>30	5				
Borde	x<40	5	<564	1	x<10	1				
	40<x≤46,67	4	564<x≤669	3	10<x≤20	2				
	46,6<x≤53,3	3	669<x≤1210	5	20<x≤30	3				
	53,3<x≤60	2	1.210<x≤1812	4	30<x≤40	4				
	>60	1	>1812	2	>40	5				

S: Subíndice (corresponde al rango de calificación para los intervalos de cada variable y es el resultado de la construcción realizada por expertos en el ecosistema de manglar); ind: individuos; ha: hectárea; plant.: plántulas; prop.: propágulos.

\* En ausencia de una variable, ésta no es considerada en el cálculo ni sus pesos de ponderación en la ecuación. Se permite la ausencia de solo una variable a excepción de densidad o área basal.

La interpretación de los resultados del IBIm, a partir de la integración de los subíndices se hace con la escala mostrada en la Tabla 27.

**Tabla 27. Escala de interpretación del indicador de integridad biológica de manglares (IBIm) de la Ciénaga Grande de Santa Marta.**

Valor total de IBIm Ciénaga Grande de Santa Marta	Escala de interpretación del indicador
>4	Deseable
≥3 y <4	Buen estado
≥2 y <3	Regular
≥1,5 y <2	Alerta
<1,5	No deseable

7. Indicador de Integridad biológica de Manglares – IBIm para la Ciénaga Grande de Santa Marta

Fuente de los datos e información

La aplicación práctica del indicador incluye los datos tomados en las seis estaciones permanentes de monitoreo en el manglar: Aguas Negras, Caño Grande, Kilómetro 22, Luna, Rinconada, y Sevillano. El bosque que predomina en las estaciones de monitoreo corresponde a un manglar de tipo cuenca. Por lo tanto, el indicador fue calculado teniendo en cuenta los rangos para este tipo fisiográfico (Tabla 26).

Periodo reportado

Para la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) el periodo de análisis contempla desde el año 2010 hasta 2023.

Reporte o cálculo del indicador

Se reporta información en el periodo comprendido entre los años 2010 y 2023 (INVEMAR, 2023) (Figura 43), no se incluye 2020 dado que no se realizaron monitoreos en la CGSM como consecuencia del plan de contingencias declarada por Gobierno Nacional para afrontar la emergencia por COVID-19.

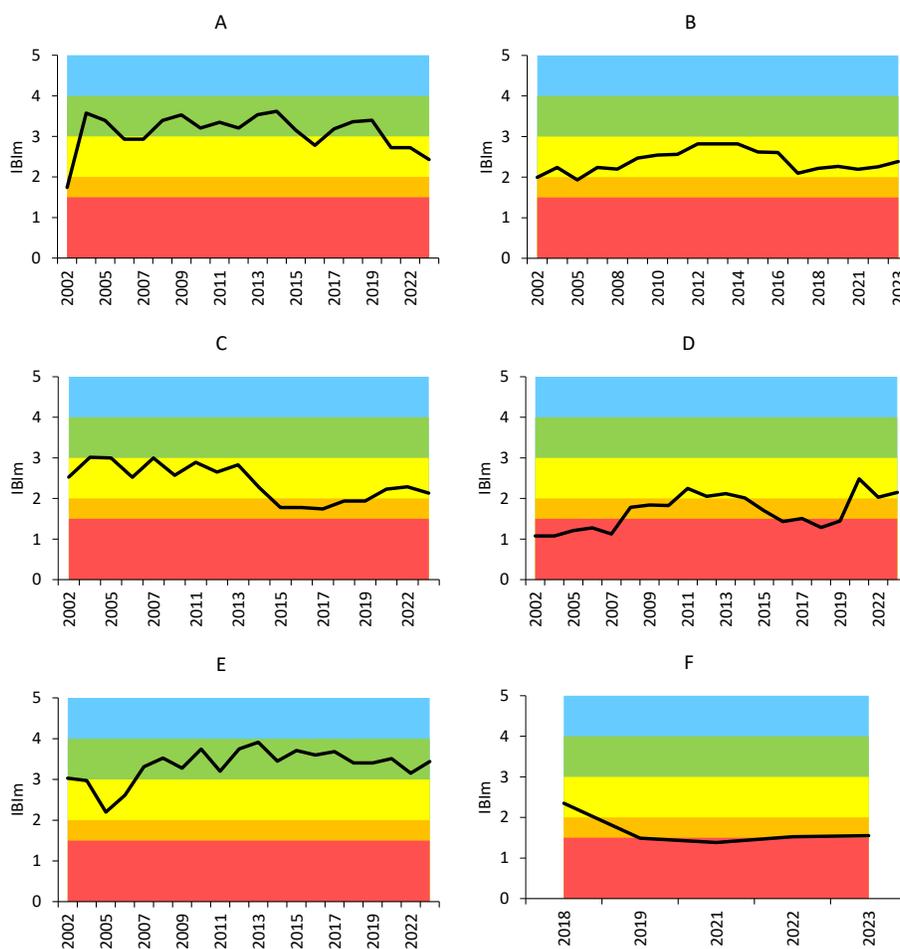


Figura 43. Serie histórica (2010 - 2023) del Indicador de Integridad Biológica de manglares para las estaciones de monitoreo en la Ciénaga Grande de Santa Marta. A. Aguas Negras, B. Caño Grande, C. Kilómetro 22, D. Luna, E. Rinconada y F. Sevillano

## 7. Indicador de Integridad biológica de Manglares – IBIm para la Ciénaga Grande de Santa Marta

## Interpretación de los resultados

A nivel general, el IBIm para la CGSM en el periodo 2004 – 2009, permaneció en la categoría “Regular” (INVEVAR, 2021c), con aumento en el IBIm derivado de una alta disponibilidad de propágulos y plántulas, así como el aumento del área basal, en especial de *Avicennia germinans* (Cadavid, 2009). En la estación Luna, para este mismo periodo, la disminución del arbolado y de la regeneración natural, y el aumento de la salinidad con valores que alcanzaron hasta 70 unidades (Cadavid, 2009), hicieron que el indicador de integridad en este sector fuera “No deseable” (INVEVAR, 2021a).

Durante el periodo 2017 – 2019, la estación Aguas Negras se mantuvo en “Buen estado”. Desde el 2020 y hasta el 2023 el valor del IBIm disminuyó a categoría “Regular” (Figura 43a), debido a que el establecimiento de plántulas y propágulos fue nulo, comprometiendo la capacidad de regeneración natural del bosque (Sánchez-Páez et al., 1997), lo que compromete la integridad del bosque a corto plazo. Siendo la entrada permanente de sedimentos proveniente del Caño Aguas Negras un factor que está afectando el bosque en esta estación. Si bien, las operaciones de mantenimiento y dragado de este caño (Jaramillo et al., 2018) han sido pensadas como parte de la estrategia de rehabilitación hidráulica, el flujo permanente de agua está ingresando contribuye de forma acelerada con una gran cantidad de sedimentos al interior del bosque, alcanzando una elevación de 1m en menos de 12 meses. La acumulación permanente de sedimentos ha cubierto los neumatóforos, estructuras cuya principal función es capturar el oxígeno atmosférico y conducirlo a los tejidos radiculares (Hogarth, 2015) lo cual podría generar asfixia a los manglares y, por tanto, la muerte de los mismos.

La estación Caño Grande se ha mantenido en la categoría “Regular” durante el periodo analizado (Figura 43b). En 2023, los valores de área basal aumentaron con respecto al 2022 y la salinidad no superó las 30 unidades. Sumado a esto, hay una alta producción de plántulas y propágulos, lo que incide en el resultado del indicador. En este sector la especie más importante ha sido *Rhizophora mangle*, especie sembrada en el año 2000 en el marco del proyecto Manglares de Colombia (Cadavid et al., 2009). El indicador, al estar basado en una trayectoria de referencia donde *A. germinans* es la especie dominante, dándole más peso dentro de la ecuación del indicador. En este sentido, la estructura y configuración del bosque en Caño Grande se aleja de una trayectoria de restauración definida para un manglar tipo cuenca (Rodríguez-Rodríguez, 2015).

La estación Kilometro 22 se mantuvo en la categoría “Regular” en 2023 (Figura 43c). A pesar del aumento en el promedio de salinidad en este último año, los valores de área basal y densidad son estables, con *A. germinans* como principal elemento florístico en el bosque. Así mismo, la producción de propágulos y plántulas fue alta durante el 2023. Aun así, el desarrollo estructural es pobre en comparación con la estación de referencia, Rinconada, por lo que se mantiene en una categoría baja.

La estación Luna ha sido uno de los sectores con mayor degradación del bosque, con un IBIm entre “Alerta” y “No deseable” para el periodo 2002 - 2019. Desde el 2016, el promedio de salinidad intersticial en Luna ha disminuido, alcanzando un valor inferior a 20 unidades en 2023. Esta condición se vio reflejada en el aumento del área basal (Jaramillo et al., 2018) y la densidad de *L. racemosa*, una especie pionera que predomina en zonas perturbadas de baja salinidad, suelos inestables y condiciones de inundación fluctuantes (Serrano-Díaz et al., 1995; Hogarth, 1999; Álvarez-León et al., 2004). Para 2023, las características estructurales del bosque mantienen a Luna en una categoría “Regular” (Figura 43d), debido a la disminución en la producción de semillas y plántulas y la pérdida de algunos de sus atributos estructurales como su densidad y abundancia absoluta.

En Rinconada, con excepción del 2005, el indicador se ha mantenido dentro de la categoría “Buen estado” desde el 2002 al 2023 (Figura 43e). En 2023 hubo un aumento en todos sus atributos estructurales, con una producción permanente de plántulas y propágulos. Además, la salinidad se encuentra en un rango tolerable para el crecimiento y desarrollo de los manglares (< 40) y el bosque presenta una configuración estable, donde *A. germinans* es la especie más importante, con valores de área basal y densidad característicos de un bosque desarrollado (Ulloa-Delgado et al., 1998).

El IBIm para Sevillano se encuentra en la categoría “No deseable” en 2023 (Figura 43f). A pesar de que no hubo disminución del área basal, la densidad y abundancia, la baja producción de plántulas y propágulos en referencia a las demás estaciones evidencian el deterioro del bosque. Sevillano es una de las estaciones con valores de salinidad intersticial más elevados, con un promedio de 82,9 en 2023, lo cual, durante una exposición permanente, se constituye como un factor limitante para el desarrollo del bosque de manglar.

La integridad de los bosques de manglar es dependiente de la salinidad intersticial. Si bien, los manglares son especies halófitas, tienen umbrales de tolerancia fisiológica que, al ser sobrepasados, conllevan a la pérdida de la estructura y funcionalidad del bosque. La salinidad, a su vez, depende de factores como la precipitación, evapotranspiración y el adecuado balance hídrico en la CGSM, definido en principio por los ingresos de agua dulce al sistema y por eventos climáticos regionales. Los registros históricos del monitoreo del bosque de manglar en la CGSM han evidenciado que las

**7. Indicador de Integridad biológica de Manglares – IBIm para la Ciénaga Grande de Santa Marta**

mayores pérdidas de estructura del bosque se relacionan con el aumento de la salinidad intersticial y una permanente exposición a esta condición (INVEMAR, 2021b). La implementación de acciones de rehabilitación hidráulica (1996 y 1998), así como el aumento en las precipitaciones en épocas de La Niña (2010-2011), han permitido la recuperación paulatina del bosque (INVEMAR, 2023).

En la Figura 43, se observa que durante el periodo 2014 – 2016 hubo una disminución del IBIm en todas las estaciones. Este registro coincidió con un evento El Niño fuerte, el cuál produjo un aumento en los valores de salinidad en el sistema, lo que a su vez condujo a una disminución del área basal del bosque en las estaciones de monitoreo. Sin embargo, el ingreso de agua dulce al sistema lagunar, derivado de las obras de dragado de los principales caños provenientes del río Magdalena, así como la ausencia de eventos climáticos extremos como El Niño, generaron un descenso de la salinidad del agua intersticial en el periodo 2017 - 2022. Mientras que en el periodo 2021 - 2023 se observó la recuperación del bosque, en especial en la estación Luna, la cual corresponde al sector más deteriorado históricamente y aunque se mantiene en la categoría “Regular”, los cambios en el valor del indicador en esta estación reflejan la respuesta del bosque a las variaciones de salinidad y la influencia de los aportes de agua dulce como resultado de La Niña.

**Limitaciones del indicador**

Los datos con los que se construyeron los intervalos de referencia para el IBIm, corresponden únicamente a estudios realizados en la CGSM. Por esta razón, el indicador no debe aplicarse a otras áreas de la costa colombiana, para la evaluación del estado de estas debe usarse el ICTbm, el cual establece las condiciones de evaluación específicas para cada una de las áreas y tiene en cuenta la gran variabilidad de este ecosistema en Colombia y las condiciones diferenciales de ambas costas.

Así mismo, se resalta que el IBIm ha sido calibrado según los tipos fisiográficos descritos; por lo tanto, antes de calcular el indicador para un área de interés, es importante identificar el tipo fisiográfico al cual corresponde el bosque de manglar y atribuir los subíndices de acuerdo con los intervalos presentados en la Tabla 26.

Aunque el IBIm cuenta con variables indicadoras de la estructura, la dinámica poblacional (densidad, área basal e incluso la regeneración natural que es el potencial que hará parte estructurante del bosque) y la salinidad del agua, no contempla alguna variable que refleje la función ecológica del manglar, por lo que actualmente el indicador presenta limitaciones para determinar de manera integral el estado general del ecosistema.

## Mapa oficial de Manglares

Dentro de las funciones del INVEMAR, se encuentra la de generar conocimiento científico y técnico para la toma de decisiones sobre el manejo y conservación de los recursos marinos y costeros del país, por esa razón, la creación de una capa nacional homogénea en temporalidad y escala de cobertura de bosque de manglar, permite contar con información detallada y actualizada sobre su distribución en el territorio nacional, lo que incentiva la implementación de políticas públicas y estrategias de manejo y conservación; además, según Ximenes et al. (2023) las aplicaciones de los mapas de distribución de manglar facilitan las estimaciones de su extensión, el cálculo de tasas de deforestación, la cuantificación de reservas de carbono y hasta la generación de modelos de respuesta frente al cambio climático, además, una representación precisa de su distribución predice mejor su dinámica y cambios, consecuencia de fenómenos climáticos. En términos generales, los manglares en Colombia hacen presencia tanto en los dos litorales costeros Caribe y Pacífico, cómo en la zona insular del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (INVEMAR, 2022b).

A través del Sistema de Información para la Gestión de los Manglares en Colombia (SIGMA) que integra información relacionada con la dinámica espacial y temporal de los ecosistemas de manglar del país y su gestión (Rodríguez-Rodríguez, Gonzalez-Polo y Rodríguez, 2014), INVEMAR pone a disposición el mapa nacional oficial de manglar con la finalidad de generar insumos dirigidos a todas las entidades y autoridades ambientales responsables de la gestión de los recursos naturales, institutos de investigación, universidades y a la comunidad en general en aras de atender lo dispuesto en la resolución 1263 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Ley de manglares 2243 de 2022, buscando la sostenibilidad, gestión y protección de los ecosistemas de manglar.

### Avances en la generación de cartografía de manglares a escala nacional.

Gracias al esfuerzo de estandarización de cartografía nacional de ecosistemas marinos y costeros, el INVEMAR, publica en el año 2022 la primera versión del mapa nacional de manglares a una escala de 1:25000 para Caribe y Pacífico continental, y a una escala de 1: 5,000 para la zona insular de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (INVEMAR, 2023a). Si bien, se consolidó como insumo importante para el ordenamiento ambiental del territorio, durante el año 2023 surgió la necesidad de definir de manera precisa los límites del ecosistema mapeado a través de reinterpretación manual para el caso continental, utilizando información secundaria y datos de mayor resolución espacial. La intención de estos procesos se da en función de fortalecer la línea base de extensión y permitir su futuro monitoreo con metodologías conocidas.

Cabe resaltar que la versión más reciente del mapa nacional de manglares se encuentra en <https://acceso-datos-ambientales-invemar.hub.arcgis.com> y contiene su propio metadato que da cuenta de los procesos aplicados y su respectiva actualización. También es importante tener en cuenta que cualquier visualización, análisis, operación u cualquier otro uso que relacione dos o más capas de manglar con diferencias técnicas y metodológicas por versionamiento, deben tener homologación y no deben ser comparadas de manera directa, por esa razón, los cambios de área son consecuencia no solo del comportamiento real de la cobertura asociado a presiones antrópicas y/o naturales, sino también a cambios técnicos relacionados con la escala, año cartografiado, unidad

mínima cartografiable, sistema de referencia de coordenadas, insumo de referencia y metodología de interpretación.

### *Uso de datos*

Mencionado lo anterior, se establece que estos datos son de uso público y su uso científico está sujeto a la calidad necesaria de cualquier estudio bajo responsabilidad de quién investigue. Adicionalmente, la Coordinación de Investigación e Información para la gestión Marina y Costera (GEZ) de INVEMAR, administra las versiones anteriormente descritas y se encuentran en custodia del Laboratorio de Servicios de Información LabSIS y son de acceso al público por solicitud previa a través del [portal SIAM](#).

### *Aplicaciones relacionadas*

Los resultados de estas investigaciones son un insumo fundamental para el ordenamiento y gestión de los ecosistemas de manglar, una herramienta clave para el manejo de las áreas marinas protegidas en coherencia con las políticas públicas nacionales (Plan Nacional de Desarrollo y Plan nacional de cambio climático), normatividad vigente (Resolución 1263 2018 y la Ley de manglares 2243 de 2022 y la Ley 2169 para la acción climática) y la gestión que se requerirá para que puedan ser conservadas, aportando a la mitigación del cambio climático y en apoyo a los compromisos internacionales como Objetivos de Desarrollo Sostenible (13 y 14), Metas Aichi (4, 10, 11 y 14) y metas para la Contribuciones nacionalmente determinadas (27, 28 y 29) en el marco del Acuerdo de París, entre otros. Así mismo, se constituye en una oportunidad de estandarizar mapas con valor agregado más precisos (Bunting, 2022), relacionando datos como el carbono azul, variables de estado, comportamientos de cobertura, amenazas y riesgos, acciones de restauración, soluciones basadas en manglares (SbM) entre otros.

# CAPÍTULO III

## CAUSAS Y TENSORES DEL CAMBIO EN LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS Y SUS SERVICIOS: INDICADORES DE PRESIÓN



Embarcaciones de Pesca Industrial en el Muelle de Marcol en el Distrito de Buenaventura-Valle del Cauca. Foto: PROGRAMA VAR

## INTRODUCCIÓN

Este capítulo de indicadores de presión, da cuenta de las causas y tensores de cambios en los ecosistemas marinos y costeros de Colombia, así como en los servicios ecosistémicos que ofertan estos ambientes, de los cuales el INVEMAR posee información. El alcance de estos indicadores de presión se da a partir de la evolución y estado de conocimiento de servicios como la provisión de alimento y el consecuente aprovechamiento por pesca tanto a nivel industrial como artesanal. Cada indicador es descrito teniendo en cuenta su definición, cálculo, interpretación y discusión en sus usos y limitaciones para el manejo.

## TENSOR DIRECTO

### Aprovechamiento de recursos pesqueros

Las áreas marinas y costeras poseen una gran biodiversidad lo que las constituye en uno de los sistemas más productivos que existen en el planeta (Agardy, 1994; Eichbaum, Crosby, Agardy, & Laskin, 1996). Esta biodiversidad marina origina diversos tipos de servicios ecosistémicos como son los de soporte (*p.e.* procesos de producción biológica y flujo de energía), servicios de regulación (*p.e.* absorción de CO<sub>2</sub> y contaminantes), servicios culturales (*p.e.* el turismo) y los servicios de aprovisionamiento (*p.e.* la pesca). Sin embargo, los anteriores están expuestos a muchos factores estresantes que origina una reorganización de la diversidad (Magurrán, 2016) y que provoca cambios en el funcionamiento de los mismos (Ito, Halouani, Cresson, Giraldo, & Girardin, 2023). Uno de estos factores estresantes es el aprovechamiento por pesca que ha mostrado un patrón generalizado de agotamiento de los recursos durante los últimos 50 años (Myers & Worm, 2003; Rosenberg, Swasey, & Bowman, 2006), por lo que se ha tratado de documentar el impacto de la misma sobre la biodiversidad. En el país, algunas investigaciones han documentado sus impactos sobre la biodiversidad marina (Rueda *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2012), así como efectos en la estructura y funcionamiento del ecosistema (Rueda *et al.*, 2004; Escobar-Toledo *et al.*, 2015; Rueda & Defeo, 2003). El uso de indicadores para sintetizar la información revelan el estado de los ecosistemas (Niquil, y otros, 2012) y su aplicación es útil para el manejo. (Tam, y otros, 2017). Precisamente, los indicadores que se abordan en este capítulo, pretenden evidenciar la evolución de la presión ejercida sobre los recursos pesqueros usando puntos de referencia límite y recomendaciones para el manejo del recurso pesquero. Los indicadores se construyeron con base en información colectada por el INVEMAR en proyectos de investigación y actividades de monitoreo, así como información de estadísticas oficiales de pesca generadas por la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP.

8. Indicador de captura total y captura por especie (nacional)

Definición e importancia del indicador

Es una medida de producción o rendimiento de los recursos pesqueros que son explotados por la pesquería industrial y artesanal y, que se desembarcan o llegan a puerto luego de ser capturados por algún tipo de arte de pesca durante las faenas en un área determinada. Este indicador contribuye a la formulación de medidas de manejo pesquero.

Fuente de los datos e información

Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA: 1990-1999), Instituto Colombiano para el desarrollo Rural (INCODER: 2000-2006), Convenio entre el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la Corporación Colombia Internacional – CCI (MADR-CCI: 2007-2011) y el Servicio Estadístico Pesquero Colombiano (SEPEC; AUNAP: 2012-2023).

Periodo reportado

1990-2023. Nota: El convenio MADR – CCI no reportó información de pesca industrial y artesanal para 2011, por tanto, no se muestra información para este año. Para el periodo 2014-2023, el SEPEC publicó las estadísticas de pesca solo para los meses en los que se realizó el registro de información.

Reporte o cálculo del indicador

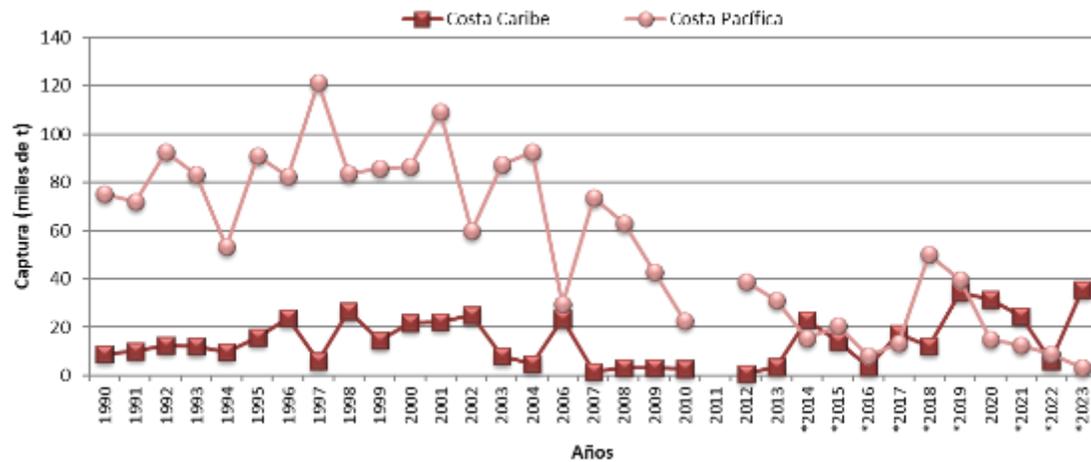


Figura 44. Captura industrial y artesanal desembarcada para el Caribe y Pacífico colombiano. \*Los datos publicados en el SEPEC no cuentan con información para algunos meses del año, por tanto, esta información es subestimada.

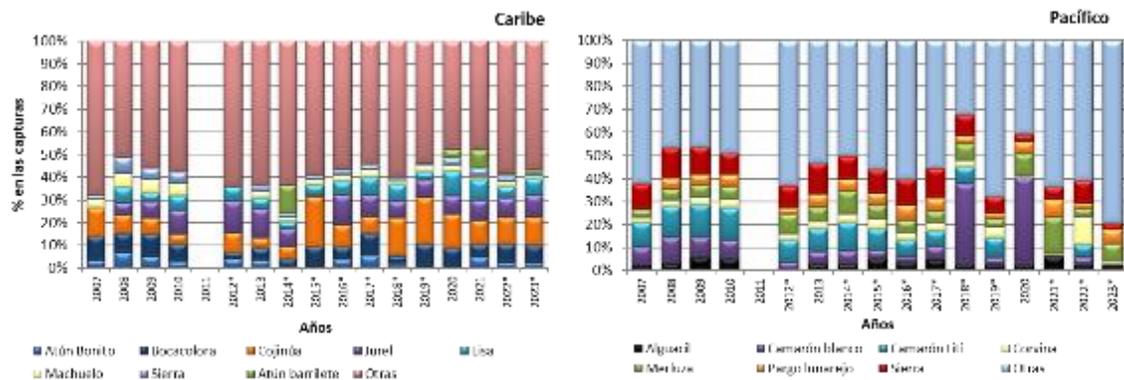
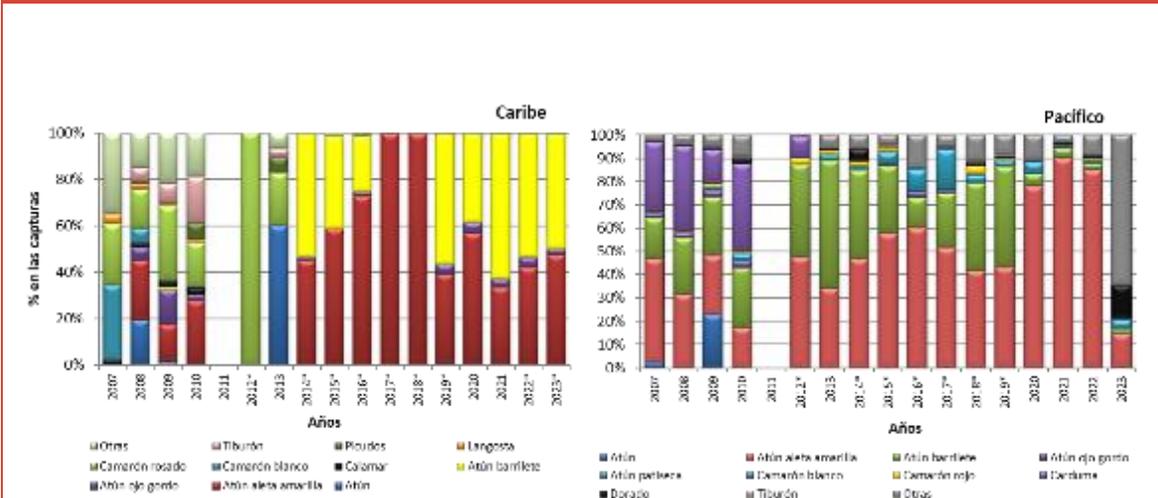


Figura 45. Porcentaje de la captura artesanal en peso por especie desembarcada para el Caribe y Pacífico colombiano. \*Los datos publicados en el SEPEC no cuentan con información para algunos meses del año, por tanto, esta información es subestimada.

8. Indicador de captura total y captura por especie (nacional)



**Figura 46. Porcentaje de la captura industrial en peso por especie desembarcada para el Caribe y Pacífico colombiano.**  
 \*Los datos publicados en SEPEC tienen vacíos de información para algunos meses del año, por tanto, esta información es subestimada.

**Interpretación de los resultados**

Los registros históricos de la captura desembarcada para los dos litorales muestran un panorama diferente. En el caso del Pacífico, se muestra una disminución en la serie de tiempo, a pesar de que se denotan algunos años con capturas intermedias al final. Para el caso del Caribe, la serie de tiempo muestra los mejores rendimientos al final de la serie, siendo el de mayor registro el 2023 (35.391 t). Para el 2023, los desembarcos totales reportados por el Servicio Estadístico Pesquero Colombiano (SEPEC) para los dos litorales se mantuvo cerca de las 38.600 t, siendo mucho mayor en el Caribe (92%) que en el Pacífico 8%, lo cual no corresponde al patrón histórico registrado; Figura 44). El indicador no incluye las capturas del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina ni de la Ciénaga Grande de Santa Marta, lo cual podría afectar las tendencias. Así mismo, los años en cada una de las figuras, son años que no cuentan con la información anual completa. Para 2023, hasta el mes de octubre, la pesca artesanal en el Caribe registró un total de 2.740,6 t con predominio de peces de las familias Carangidae (cojinúas y jureles; 21,91 %), Mugilidae (7,66%) y Haemulidae (bocacolorá; 7,7 %; Figura 45). En el Pacífico, el desembarco artesanal registrado hasta octubre de 2023 fue de 643.8 t, destacando las familias Ophidiidae (Merluza; 7,51 %), Lutjanidae (pargo lunajero; 6,51 %) y Scombridae (Sierra; 2,74 %; Figura 45). A nivel industrial, hasta septiembre de 2023, el desembarco registrado para el Caribe fue de 32.653 t, con mayor representación de los peces de la familia Scombridae (atunes; 96,7 %, Figura 46) cuyo origen es la captura hecha en el Pacífico por la flota industrial. Para el Pacífico, esta flota desembarcó un total de 2618,1 t, con predominio de la misma familia Scombridae (90,7 %; Figura 46).

**Limitaciones del indicador**

La información presentada tiene un nivel de incertidumbre en los reportes de los desembarcos de los últimos años, registrados por la autoridad pesquera ([www.sepec.aunap.gov.co](http://www.sepec.aunap.gov.co)), permitiendo así construir un indicador de la tendencia de la producción pesquera afectada por niveles de esfuerzo de pesca y la variabilidad ambiental. Una limitante que cobra fuerza en los últimos años, es la representatividad de los datos, lo cual puede llegar a invalidar la tendencia de la producción pesquera nacional presentada actualmente. Debe tomarse mucha precaución el emitir conclusiones sobre el estado de explotación de las poblaciones aprovechadas por pesca con esta información.

**Recomendaciones y alternativas de manejo**

El indicador muestra una tendencia a la disminución para ambas costas (Caribe y Pacífica) que podría deberse a un receso en el esfuerzo de muestreo, ya que la información corresponde a una fracción del año que puede no ser representativa del comportamiento de las capturas en todos los meses, dada la estacionalidad del recurso. Así mismo, se debe considerar el esfuerzo de pesca aplicado, la influencia de factores ambientales y condiciones del hábitat en la disponibilidad y abundancia del recurso. De manera precautoria, las cuotas de pesca a aplicar deben ser conservadoras sobre los registros mostrados confrontados con estimaciones de Máximo Rendimiento Sostenible basados en modelación de registros históricos y en estimaciones directas de biomasa a través de cruceros de prospección pesquera.

**9. Indicador de captura total anual y composición por especies para la pesca artesanal de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM**

**Definición e importancia del indicador**

El indicador es una medida de producción o rendimiento de un recurso pesquero que se desembarca o llega a puerto posterior a su captura por algún tipo de arte de pesca durante faenas ejercidas en un área determinada. Este indicador contribuye a la formulación de medidas de manejo pesquero.

**Fuente de los datos e información**

La información corresponde a la base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN.

**Periodo reportado**

Los resultados presentados corresponden a la serie histórica de 2000 a 2023.

**Reporte o cálculo del indicador**

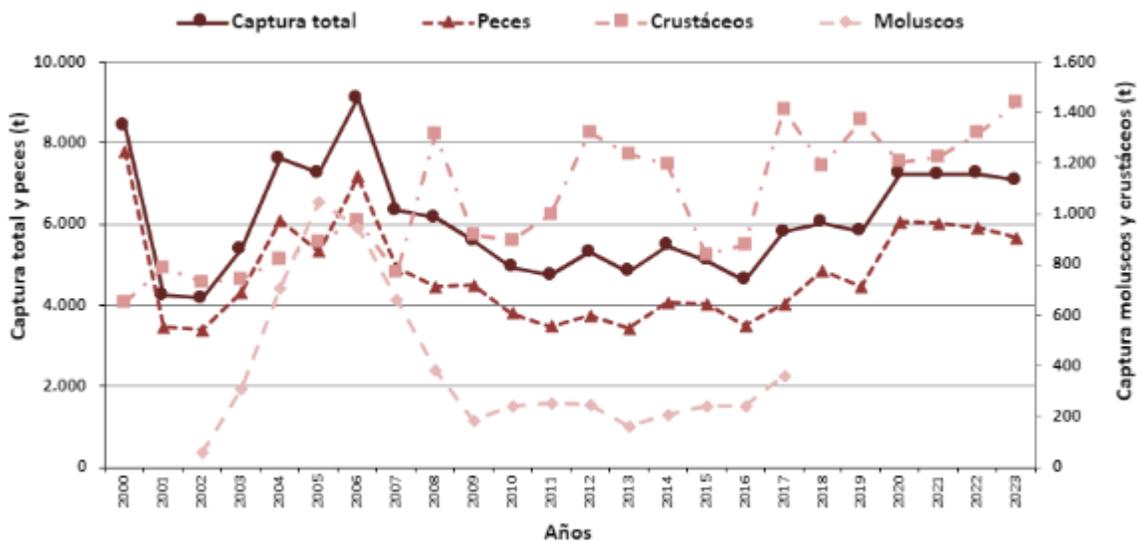


Figura 47. Captura total anual y por grupo de especies desembarcada de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM.

9. Indicador de captura total anual y composición por especies para la pesca artesanal de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM

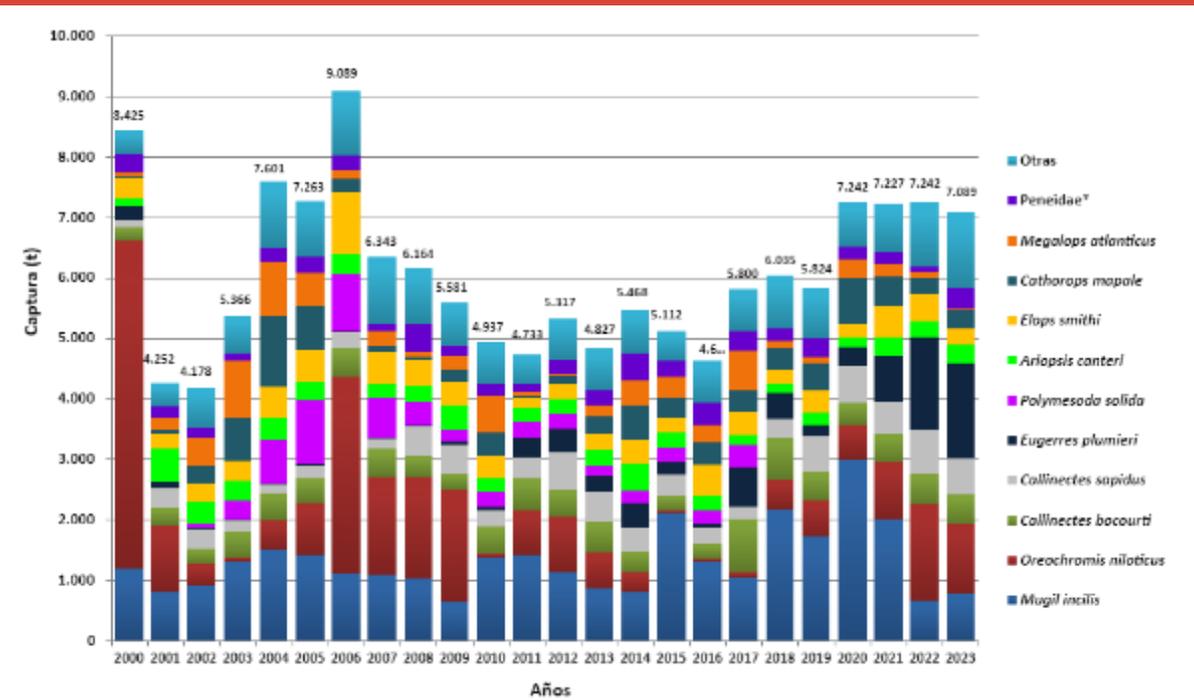


Figura 48. Composición anual de la captura desembarcada por especies de peces de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM.

Interpretación de los resultados

La información registrada en 2023 muestra una muy leve disminución en la tendencia creciente de la captura total anual (7.089 t) presentada en los tres últimos años, pero aún se mantiene por encima de las 7.000 t desde 2020. Se confirma el comportamiento de la serie temporal, una tendencia al aumento en los primeros años, logrando su máxima representación en 2006 y observando una segunda tendencia con notoria disminución en la producción pesquera, posterior a 2006. Sin embargo, se reitera un evidente restablecimiento en los rendimientos pesqueros anuales desde 2017, especialmente en los tres últimos años con registros de capturas por arriba de los últimos 13 años (Figura 47). La composición de las capturas en 2023 fue de peces (80%) y crustáceos (20%), manteniendo similar el comportamiento del año anterior. Se enfatiza la ausencia de registro de datos de moluscos desde 2018 en el área de la Vía Parque Isla de Salamanca (VIPIS), por acciones de conservación de este recurso dentro de esta área protegida. En el grupo de peces, incidieron principalmente las especies mojarra rayada (*Eugerres plumieri*, 22%), mojarra lora (*Oreochromis niloticus*, 16%) y lisa (*Mugil incilis*; 11%). Las jaibas que representaron en la producción global el 15,5%, fueron representadas por la jaiba azul (*Callinectes sapidus*; 8,6%) y jaiba roja (*Callinectes bocourti*; 6,9 %; Figura 48). La composición de la captura durante la serie, demuestra que, al inicio de la misma, las capturas estaban dominadas por la mojarra lora, quien nuevamente se hizo presente su alto aporte en la captura desembarcada. También, se destaca el repunte en la participación de la mojarra rayada en los últimos años, en comparación con la década anterior de la serie.

Limitaciones del indicador

El indicador posee una certidumbre esperada, basada en un enfoque muestral aplicado por el INVEMAR para las estadísticas de pesca. Sin embargo, la captura no debe ser tomada como un indicador de abundancia del recurso, sino como una medida de producción. El indicador de captura por sí solo, no es suficiente para describir el impacto de la pesca en los recursos explotados, debido a que un aumento o una disminución de un año a otro puede estar relacionado a un aumento o disminución del esfuerzo de pesca, o un aumento de la abundancia, o cambios simultáneos en estas dos variables. Otra limitante menor es la dependencia que se tiene por la colaboración de los pescadores en el suministro de la información.

Recomendaciones y alternativas de manejo

Su relación con datos de esfuerzo, permite calcular la abundancia relativa (CPUE), la cual puede ser usada como indicador de estado del recurso, además de direccionar medidas de manejo a un arte de pesca determinado y sus capturas por tallas. Esta

**9. Indicador de captura total anual y composición por especies para la pesca artesanal de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM**

información es base para la estimación de rendimientos máximos sostenibles (aproximación de cuotas de pesca) y esfuerzo óptimo (número de faenas permisibles). Desde una perspectiva de producción pesquera, es claro el repunte de los desembarcos desde el 2020, manteniendo unas capturas relativamente altas según la serie de tiempo registrada. Se recomienda que las estrategias de manejo basadas en cuotas de pesca y esfuerzo óptimo de pesca, deban ir a escenarios de concertación entre las comunidades de pescadores, investigadores y administradores del recurso (AUNAP, Corporación Autónoma Regional del Magdalena - CORPAMAG y Parques Nacionales Naturales - PNN).

**10. Indicador de abundancia relativa de la pesca artesanal en la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta - GCSM**

**Definición e importancia del indicador**

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) es un índice de la abundancia relativa de un recurso aprovechado por pesca en un área geográfica dada y usando una tecnología de pesca específica. Representa el peso capturado por especie (o multiespecífico) en función del esfuerzo invertido en la extracción. Es la única medida de este tipo estimable en la CGSM, a partir de estadísticas de pesca que puede medir el estado de una población aprovechada por pesca.

**Fuente de los datos e información**

La información corresponde a la base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN.

**Periodo reportado**

Los resultados presentados corresponden a la serie histórica de 2000 a 2023.

**Reporte o cálculo del indicador**

10. Indicador de abundancia relativa de la pesca artesanal en la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta - GCSM

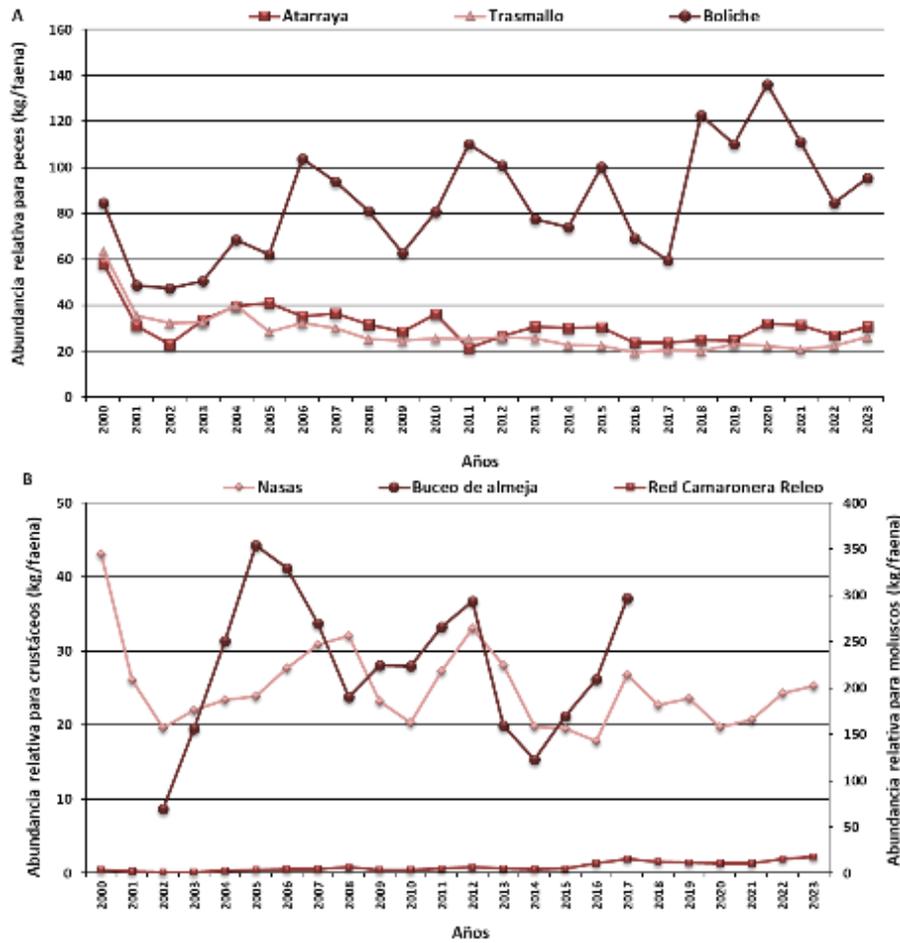


Figura 49. Abundancia relativa de peces (A) y crustáceos y moluscos (B) por arte de pesca en la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM.

**Interpretación de los resultados**

La abundancia relativa (captura por unidad de esfuerzo-CPUE) determinada para los tres principales artes de pesca, usados para la captura de peces, refleja una mayor abundancia de peces y eficiencia del boliche. No obstante, se denota una disminución en comparación con los años 2020 y 2021, aunque hay un repunte en 2023 (95 kg/faena) comparado con el 2022 (84 kg/faena; Figura 49A). Los otros dos artes (atarraya y trasmallo) utilizados para la captura de peces, muestran un comportamiento comparativamente constante en la abundancia de peces durante la serie de tiempo (entre 2001-2023), oscilando entre 20 y 40 kg/faena, con representación ligeramente superior para la atarraya, con respecto al trasmallo en casi toda la serie (Figura 49A). De acuerdo a lo anterior, no se observa una tendencia clara en la abundancia de peces, aunque la misma puede considerarse en niveles constantes y para el 2023, la abundancia tuvo un aumento marginal en los tres artes de pesca. A nivel de invertebrados, la abundancia de jaibas capturadas con nasas, con tendencia general a la disminución, mostró una leve recuperación respecto a los dos últimos años, con un valor muy cercano a lo reportado en 2017 (26,7 kg/faena; Figura 49B). Para el caso de las almejas, no se verificó su comportamiento durante 2023, pero se espera que haya mantenido la recuperación del recurso que ha mostrado en los últimos años por acciones de conservación hechas al interior del VIPIS. (Figura 49)

**Limitaciones del indicador**

**10. Indicador de abundancia relativa de la pesca artesanal en la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta - GCSM**

El indicador ha sido estimado con buen grado de certidumbre. No obstante, considerando el carácter multiespecífico de la pesquería, deben tomarse con precaución los datos de este indicador con diferentes artes de pesca. La calidad de la información es altamente dependiente del diseño de muestreo aplicado, de la colaboración del pescador, de la distribución espacial del recurso, del entrenamiento de las personas que toman la información, del poder de pesca (cambios en las características y dimensiones de los artes de pesca, especificaciones y cambios en las embarcaciones alteran la información del indicador). En el caso de la CGSM, al igual que en la mayor parte de las pesquerías artesanales, los recursos se explotan con diversidad de artes, con mucha variabilidad en cuanto al poder de pesca relativo se refiere, lo cual hace complejo su análisis.

**Recomendaciones y alternativas de manejo**

A partir de las capturas y el esfuerzo, es posible determinar el rendimiento máximo sostenible (RMS) como una alternativa de punto de referencia límite para sugerir cuotas de pesca y establecer el nivel de esfuerzo permisible que contribuya al mantenimiento de la biomasa aprovechable. La información colectada es continua con igual metodología, por tanto, es adecuada para evaluar el estado del recurso.

**11. Indicador de talla media de captura para la pesca artesanal en la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM**

**Definición e importancia del indicador**

La talla media de captura (TMC) es el tamaño promedio expresado en longitud de los individuos de una población extraída por pesca con un arte y en un área de pesca dada. La TMC comparada con un punto de referencia como la talla de madurez sexual (TM) de la especie, se asume como un indicador del estado de la pesquería en términos de sobrepesca por crecimiento o efecto sobre la estructura de la población de una especie dada. La TMC permite detectar presión sobre el recurso, debido a cambios en la tecnología de pesca y esfuerzo de pesca.

**Fuente de los datos e información**

La información corresponde a la base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN.

**Periodo reportado**

Los resultados presentados corresponden a la serie histórica de 2000 a 2023.

**Reporte o cálculo del indicador**

11. Indicador de talla media de captura para la pesca artesanal en la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM

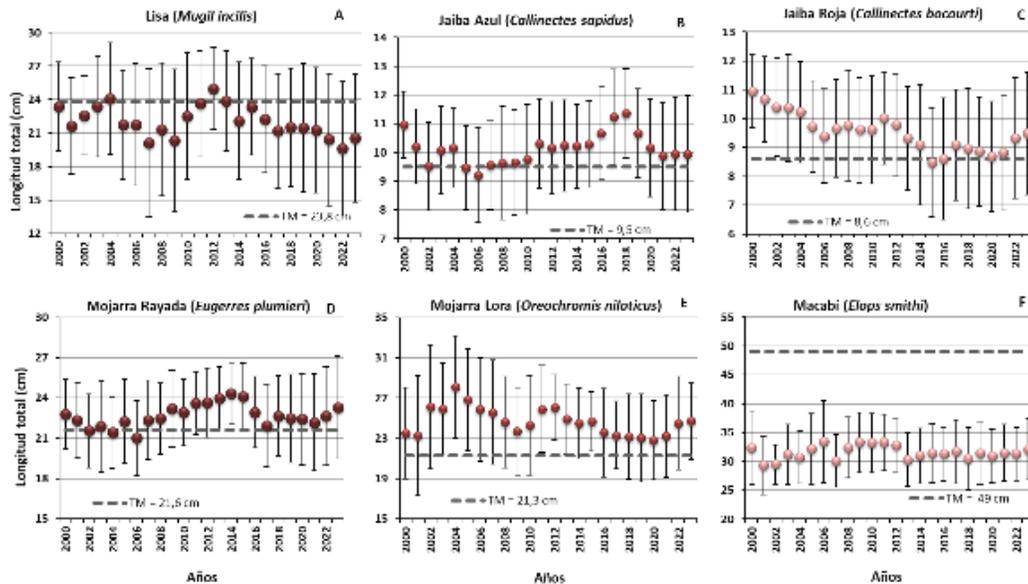


Figura 50. Variación interanual de la talla media de captura (TMC) para las principales especies en la CGSM y su ubicación con respecto a la talla de madurez sexual (TM). En el caso de las Jaibas (B y C) la medida es el ancho del caparazón.

Interpretación de los resultados

Se reafirma la presión pesquera sobre la lisa, con determinación de alto riesgo de sobrepesca, teniendo en cuenta que su TMC continúa por debajo de la TM (punto de referencia límite – PRL), con un leve aumento en 2023. Aunque este indicador mostró recuperación en los años 2011-2013 y 2015, no obstante, fue leve, invirtiendo su trayectoria desde 2016 con mayor reducción a la baja, lo cual pone en riesgo el la sostenibilidad del recurso (Figura 50A). Igualmente, se destaca la fuerte presión pesquera sobre el macabí, quien, en la serie de tiempo, la TMC siempre estuvo por debajo del PRL (Figura 50F). En cuanto a la situación de las jaibas (*Callinectes* spp.), estas se encuentran por encima de los PRL (*C. sapidus* 9,5 cm y *C. bocourti* 8,6 cm), lo que incide en la disminución de las señales de sobrepesca, pero indicando aún un riesgo moderado (Figura 50B y C). Por otra parte, especies como la mojarra rayada y la mojarra lora, generalmente han sido extraídas por encima de su TM, pero muy cercano al PRL, lo que representa un riesgo moderado de sobrepesca por crecimiento (Figura 50D y E), aunque para este 2023 se presentaron valores más altos de la TCM en comparación con el último lustro.

Limitaciones del indicador

En el caso de la CGSM, los recursos se extraen con varios artes de pesca, cada uno de las cuales selecciona un espectro de tallas determinado afectando la TMC. Tal complejidad plantea un cuidadoso seguimiento en monitoreo al desempeño de diferentes artes de pesca.

Recomendaciones y alternativas de manejo

Se recomienda tener en cuenta el criterio del PRL expresado en la TM como talla mínima de captura, para las especies: lisa (*M. incisilis*) = 24 cm LT; mojarra rayada (*E. plumieri*) = 22 cm LT; mojarra lora (*O. niloticus*) = 21 cm LT y macabí (*E. smithi*) = 49 cm. Para las jaibas (*C. sapidus* y *C. bocourti*), se indica una talla mínima de captura de 9,5 cm y 8,6 cm de ancho estándar del caparazón, respectivamente. Las medidas operacionales para maximizar la captura de individuos en la TM o por encima de ésta, se basan en el control de la selectividad de los artes de pesca usados.

**12. Indicador de proporción de pesca incidental y descartes para la pesca artesanal en la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM**

**Definición e importancia del indicador**

La cantidad de captura desembarcada es generalmente dividida en captura objetivo (aquella que es objetivo de pesca a través de un arte específico), captura incidental que corresponde a la fracción no objetivo de pesca, pero que tiene valor comercial, y el descarte, el cual hace referencia a la fracción de la captura total que no es usada por el pescador y termina siendo devuelta al medio por su nulo interés comercial. Este indicador permite determinar el impacto de la pesca sobre la biodiversidad marina y demás efectos sobre las redes tróficas e interacciones comunitarias.

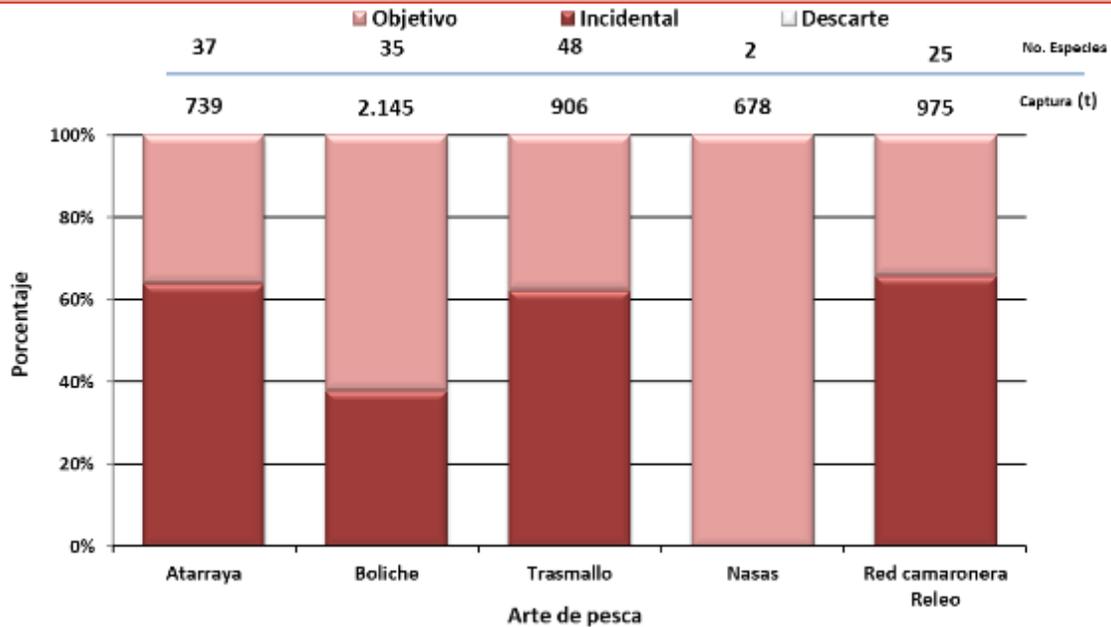
**Fuente de los datos e información**

La información corresponde a la base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN.

**Periodo reportado**

Los resultados presentados corresponden a información registrada en 2023.

**Reporte o cálculo del indicador**



**Figura 51. Composición porcentual de las capturas en peso por arte de pesca para 2023, discriminando las capturas objetivo, incidental y descartes en la CGSM.**

**Interpretación de los resultados**

En el período evaluado no se registraron descartes en los desembarcos pesqueros de la CGSM, ya que toda la captura fue aprovechada por el pescador (p.e. especies pequeñas para alimento en zocriaderos, para carnada e incluso para consumo humano; Figura 51). Esto indicaría un impacto sobre la biodiversidad que, aunque contribuye a proporcionar alimento e ingresos a los pescadores, la captura de especies pequeñas conlleva a un deterioro de la estructura poblacional y sobrevivencia. Para 2023, solo las nasas fueron totalmente selectivas (Figura 51). Caso similar al buceo, que también es una pesquería selectiva, pero para 2023 no se registró información. En el caso del boliche, atarraya y red fija (trasmallo), fueron los artes menos selectivos para la captura de peces, siendo el trasmallo el de mayor impacto por su mayor porcentaje de captura incidental (62%), representada en 2023 por 48 especies (Figura 51). Las principales especies objetivo fueron: la lisa (*M. incilis*), el macabí (*Elops smithi*) y la mojarra lora (*O. niloticus* Figura 51). La atarraya, con captura incidental del 64%, capturó 37 especies, siendo las especies objetivos la lisa (*M. incilis*) y el mapalé (*C. mapale*); mientras que, para el boliche con el 38% de captura incidental y 35 especies aprovechadas, presentó como captura

<b>12. Indicador de proporción de pesca incidental y descartes para la pesca artesanal en la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM</b>
objetivo a la lisa ( <i>M. incilis</i> ) y la mojarra rayada ( <i>E. plumieri</i> ; Figura 51). Para los artes de pesca dirigidos a peces, la selectividad es función del tamaño de malla.
<b>Limitaciones del indicador</b>
El indicador es fuertemente dependiente de la información suministrada por el pescador; no obstante, si el muestreo es representativo en puerto, el indicador es muy útil.
<b>Recomendaciones y alternativas de manejo</b>
Se sugiere mejorar la selectividad de los artes de pesca trasmallo, atarraya y boliche a fin de incentivar el escape de especies en estado juvenil y otras de baja importancia comercial, pero de repercusión ecológica. Esto plantea un buen proceso de concertación entre entidades pertinentes y pescadores, así como la sensibilización a los mismos, para llegar a acuerdos en compromisos de control y vigilancia.

<b>13. Indicador de fracción desovante/juvenil de las capturas para la pesca artesanal en la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM.</b>
<b>Definición e importancia del indicador</b>
Corresponde a la fracción juvenil y desovante medida sobre la frecuencia de las capturas desembarcadas por tallas para las diferentes especies. Para la división de la fracción desovante y/o juvenil de las capturas, se toma en forma simplificada la TM. La mayor o menor fracción desovante o juvenil, indicará la presión de pesca ejercida sobre uno u otro componente poblacional.
<b>Fuente de los datos e información</b>
Base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN.
<b>Periodo reportado</b>
Los resultados presentados corresponden a información registrada en 2023.
<b>Reporte o cálculo del indicador</b>

13. Indicador de fracción desovante/juvenil de las capturas para la pesca artesanal en la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM.

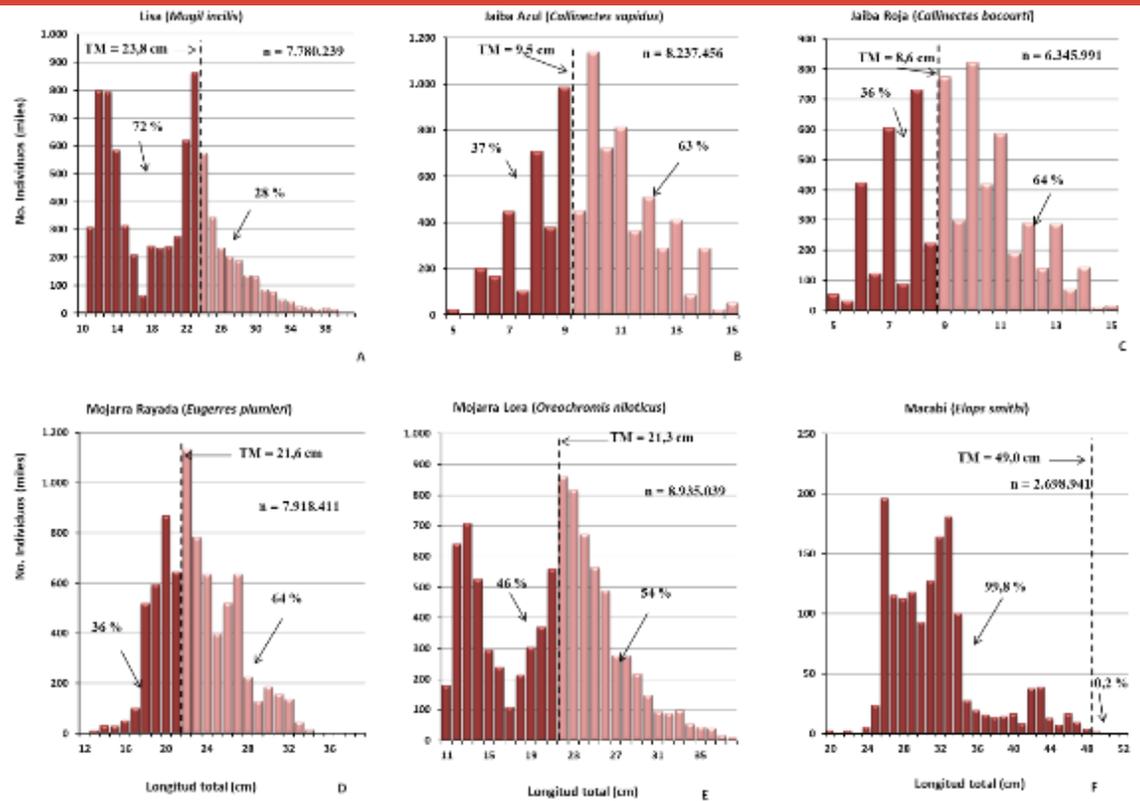


Figura 52. Fracción desovante (color claro) y juvenil (color oscuro) de los principales recursos pesqueros en la CGSM durante 2023.

**Interpretación de los resultados**

En 2023, la fracción aprovechada por debajo de la TM como PRL, para el caso de los recursos ilustrados en la Figura 52, indica que buena representación de los desembarcos se componen de especímenes juveniles; con registro de mayor afectación para el macabí (99,8%) y la lisa (72%; Figura 52A y F). La mojarra rayada muestra una presión menor, con un 36% capturados por debajo de la TM (Figura 52D), aumentando la probabilidad de reproducción de los individuos de la población. Así como acontece con las especies anteriores, la estructura de tallas de la mojarra lora, muestra que el 46% de los individuos estuvieron por debajo del PRL (Figura 52E), influyendo en la capacidad reproductiva de las poblaciones pesqueras. De igual manera, se registró una presión pesquera moderada para jaiba azul y jaiba roja (37% y 36% por debajo del PRL, respectivamente), reiterando la disminución de los signos de sobrepesca, debido a la actualización de las TM (*C. sapidus*, el PRL en 9,5 cm de longitud total y para *C. bocourti* en 8,6 cm; Figura 52B y C).

**Limitaciones del indicador**

En el caso de la CGSM, los recursos se extraen con diversas artes de pesca, cada una de las cuales selecciona un espectro de tallas determinado, por lo que esta complejidad plantea un cuidadoso seguimiento al desempeño de diferentes artes de pesca. Otras limitantes pueden ser la ausencia de estimaciones actualizadas de las TM lo cual se viene actualizando en el INVEMAR.

**Recomendaciones y alternativas de manejo**

Se recomienda fijar las tallas mínimas de captura con base a la TM, controlando la selectividad de los artes de pesca (p.e. regulaciones de tamaños de malla).

14. Indicador de renta económica de la pesca artesanal en la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM

**Definición e importancia del indicador**

Son las ganancias generadas por unidad de pesca una vez del ingreso bruto producto de la pesca se han descontado los costos de operación o variables. Este indicador contribuye a determinar el desempeño económico de una pesquería, que, combinado con otras variables de desempeño de la pesca, permite analizar su incidencia para efectos de planificación e implementación de proyectos de fomento, desarrollo tecnológico, control, ordenamiento y en general de administración de la pesquería. El indicador se puede calcular por unidad de pesca y/o pescador, como se presenta en esta oportunidad, de esta manera se puede comparar con un punto de referencia como el salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV).

**Fuente de los datos e información**

Base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN.

**Periodo reportado**

Los resultados presentados corresponden a la serie histórica de 2000 a 2023.

**Reporte o cálculo del indicador**

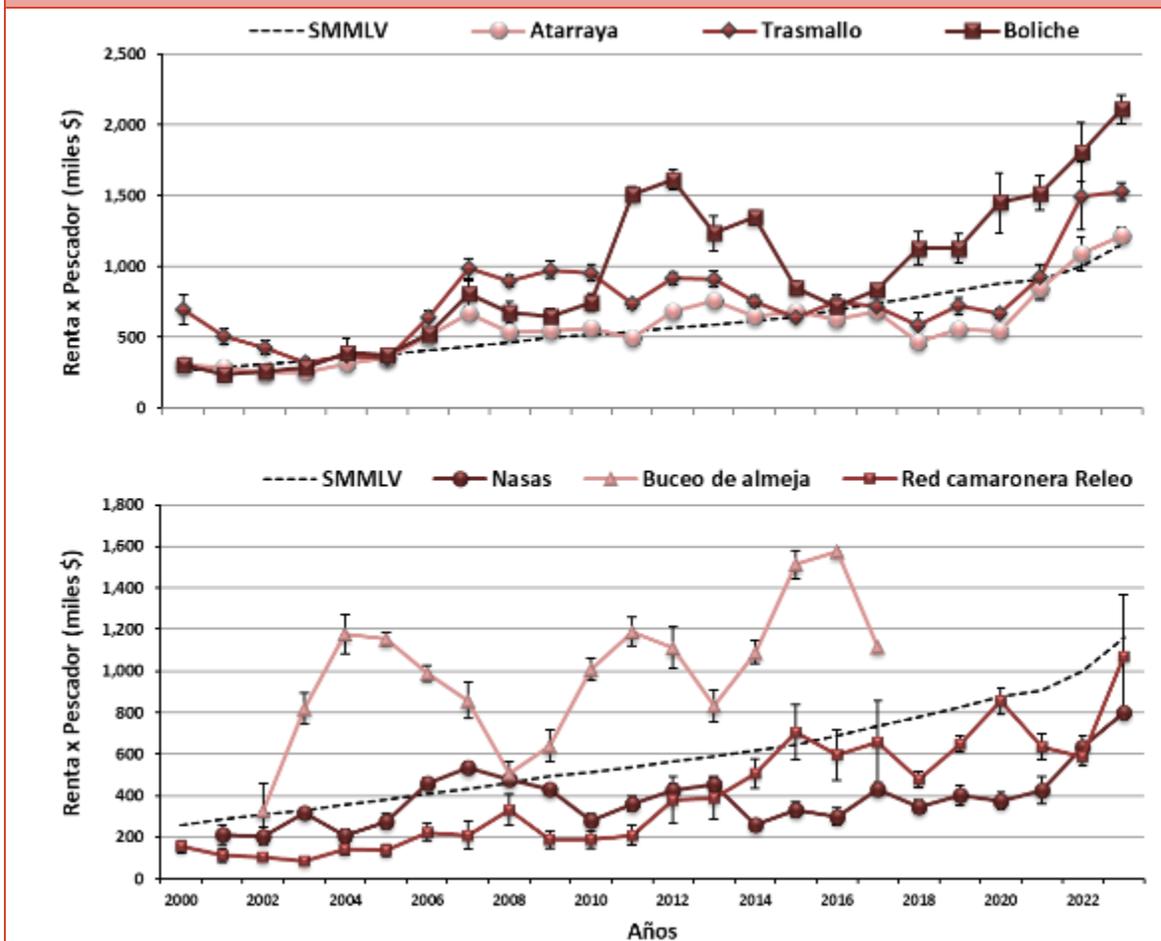


Figura 53. Variación interanual de la renta económica promedio mensual (+/- EE) por pescador para los principales artes de pesca (Arriba: Peces y Abajo: Invertebrados) en la CGSM y su ubicación con respecto a una renta umbral equivalente a un SMMLV por año (en el 2023 SMMLV = \$ 1.160.000).

**Interpretación de los resultados**

**14. Indicador de renta económica de la pesca artesanal en la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM**

En 2023, la renta de los pescadores que utilizaron boliche continuó el crecimiento desde 2017, sobrepasando en este último año a los valores más altos, obtenidos en 2011 y 2012, superando el umbral de referencia (SMMLV). Sin embargo, para los otros dos artes analizados para la captura de peces (atarraya y trasmallo), los dos últimos años han superado al PRL, aunque en menor rendimiento para la atarraya (Figura 53). Para el caso de las nasas usadas para la extracción de jaiba, mostraron una renta por debajo del umbral fijado, comportamiento observado desde 2009. En lo relativo a la actividad de buceo de almeja no se registró información para el 2023 por lo que no se tiene referencia del comportamiento para el último año (Figura 53). Es claro que la captura de peces representa mayores beneficios económicos para el pescador, en comparación con la captura de crustáceos.

**Limitaciones del indicador**

La calidad de la información de costos y precios es dependiente de la voluntad de los pescadores entrevistados y por ende hay un efecto en la estimación final, contabilizado para el caso de la CGSM. Las tendencias de la oferta y la demanda, pueden afectar la estimación de indicadores económicos, sin tener esto que ver en algunos casos con la disponibilidad de los recursos.

**Recomendaciones y alternativas de manejo**

Se sugiere analizar la incidencia de este indicador para efectos de planificación e implementación de proyectos de fomento, desarrollo tecnológico, control, ordenamiento y en general de administración de la pesquería, pues contribuiría a la determinación de las cuotas de pesca, relacionando además del máximo rendimiento biológico, el máximo rendimiento económico.

**15. Indicador de la presión pesquera artesanal sobre el tamaño de las principales especies de peces de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM**

**Definición e importancia del indicador**

En el indicador se analiza el nivel de aprovechamiento sobre las tallas de las principales especies de peces capturadas de la CGSM. Indica la tasa o porcentaje de la presión pesquera artesanal sobre las principales especies de peces de la ecorregión CGSM, teniendo en cuenta la Talla Media de Captura (TMC) y la Talla de Madurez Sexual (TM) por especie. Para el cálculo se definen las 15 principales especies de peces a partir de las capturas desembarcadas. La TMC se calcula a partir de los datos de tallas registrados en campo y almacenados como frecuencias de tallas. Con el dato de TM, se calcula el indicador TMC/TM por especie. A partir de las principales especies, se realiza el cálculo para cada una de ellas, y finalmente se analiza en conjunto estos indicadores para determinar la presión ejercida por la pesca artesanal. Este indicador permite inferir el probable impacto de la pesquería sobre el recurso, en términos de sobrepesca por crecimiento o efecto sobre la estructura de tallas.

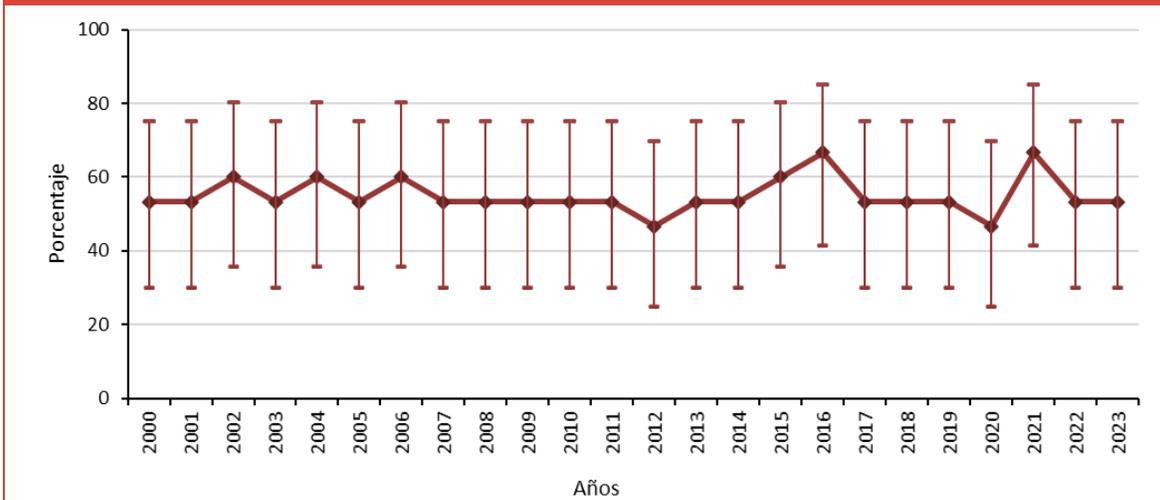
**Fuente de los datos e información**

La información corresponde a la base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN, complementada con información de las TM por especie a partir de información secundaria.

**Periodo reportado**

Los resultados presentados corresponden a la serie histórica de 2000 a 2023.

**15. Indicador de la presión pesquera artesanal sobre el tamaño de las principales especies de peces de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM**



**Figura 54. Indicador de la presión pesquera artesanal sobre la estructura de tallas capturadas de las principales especies de peces de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta-CGSM. Indicador certificado por el DANE.**

**Interpretación de los resultados**

A lo largo de la serie de tiempo, este indicador ha variado entre el 40% y el 70% de las especies aprovechadas por debajo de su TM. Para el 2016 y 2021, se presentaron las mayores afectaciones sobre la estructura de tallas de las principales especies de la CGSM. Para los años 2012 y 2020, se presentaron las menores afectaciones con solo 46,7% de las principales especies aprovechadas por debajo de la TM. Para 2023, este indicador se mantuvo con respecto al año pasado indicando que se deben seguir fortaleciendo las medidas recomendadas de manejo dirigidas a la conservación y el aprovechamiento de los recursos hidrobiológicos (Figura 54).

**Limitaciones del indicador**

En el caso de la CGSM, los recursos se extraen con varios artes de pesca, cada uno de los cuales selecciona un espectro de tallas determinado afectando la TMC. Tal complejidad plantea un cuidadoso seguimiento en monitoreo al desempeño de diferentes artes de pesca.

**Recomendaciones y alternativas de manejo**

El resultado del indicador y su análisis por especie, permite sugerir tallas mínimas de captura como medida de manejo, teniendo en cuenta la relación específica TMC/TM, de utilidad como punto de referencia límite-PRL, usándolo como criterio principal de esta medida. En este contexto, se recomienda tener en cuenta el criterio del PRL expresado en la TM como talla mínima de captura. Por ejemplo, para las siguientes especies se recomiendan estas tallas mínimas de captura: lisa (*M. incilis*) = 24 cm LT; mojarra rayada (*E. plumieri*) = 22 cm LT; mojarra lora (*O. niloticus*) = 22 cm. Las medidas operacionales para maximizar la captura de individuos en la TM o por encima de ésta, se basan en el control de la selectividad de los artes de pesca usados.

**16. Indicador de captura total y captura por especie: pesca nacional industrial de camarón**

**Definición e importancia del indicador**

Es una medida de producción o rendimiento de un recurso pesquero que se desembarca o llega a puerto luego de ser extraído de la población natural por unidad económica de pesca (UEP) con algún tipo de arte de pesca específico, en este caso la red de arrastre de fondo industrial. Se presenta el indicador para la captura objetivo en cada costa constituida por varias especies de camarón de aguas someras (CAS) y aguas profundas (CAP).

**Fuente de los datos e información**

<b>16. Indicador de captura total y captura por especie: pesca nacional industrial de camarón</b>
Base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN, alimentado con apoyo de las empresas pesqueras que desembarcan en Buenaventura en el Pacífico e Información secundaria suministrada por la Universidad del Magdalena a través del Servicio Estadístico Pesquero Colombiano- SEPEC, proveniente de los desembarcos que se realizan en los puertos base de Cartagena y Tolú.
<b>Periodo reportado</b>
2008 a diciembre de 2023 para el Pacífico. 2009 a diciembre de 2023 para el Caribe.
<b>Reporte o cálculo del indicador</b>

16. Indicador de captura total y captura por especie: pesca nacional industrial de camarón

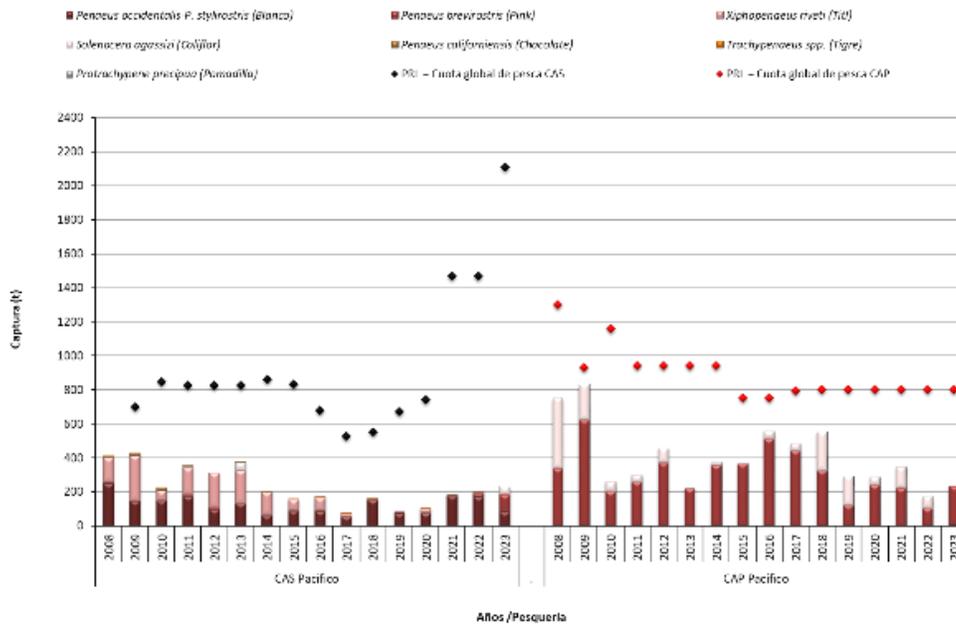


Figura 55. Variación interanual de la captura objetivo en las pesquerías industriales de camarón del Pacífico (CAS y CAP) y su relación con la cuota global de pesca anual (punto de referencia límite; PRL).

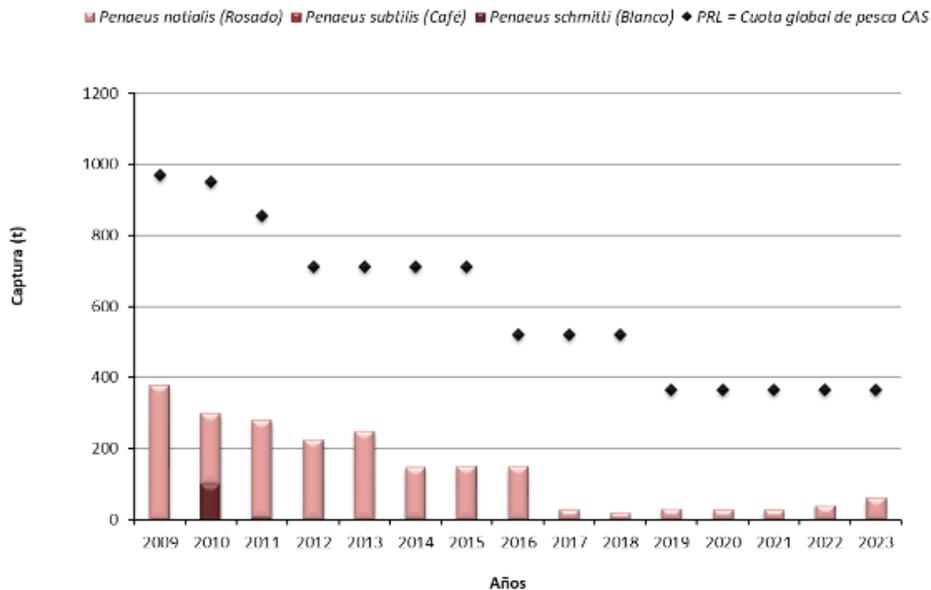


Figura 56. Variación interanual de la captura objetivo en la pesquería de camarón industrial del Caribe y su relación con la cuota global de pesca anual (punto de referencia límite; PRL).

**16. Indicador de captura total y captura por especie: pesca nacional industrial de camarón****Interpretación de los resultados**

En el 2023, la pesquería de CAS en el Pacífico colombiano presentó un desembarco de 231,7 t de captura objetivo (CO), mostrando un aumento con relación al 2022 (203,2 t; Figura 55). Respecto a la cuota global de pesca asignada por la AUNAP para este año 2023 (2110 t), la cual se incrementó respecto a los últimos cinco años (1470 t), solo se aprovechó el 11,0 % (Figura 55). Las especies objetivo en presentes en la captura durante el 2023 fue: camarón pink (*Penaeus brevirostris*; 44,2 %), seguido del camarón blanco (*Penaeus occidentalis*; 34,8 %) y en tercer lugar el camarón coliflor (*Solenocera agassizi*; 21,1 %; Figura 56).. En lo que respecta a la captura de CAP, este año se obtuvo un total de 237,8, t, mostrando una recuperación respecto al 2022 (172,1 t; Figura 55). Lo anterior correspondió al 29,7 % de la cuota global de pesca asignada para 2023 establecida en 800 t (Figura 55). A nivel de especie, los desembarcos de camarón Pink (*Penaeus brevirostris*) alcanzaron el 95 % del total capturado para el 2023 y en menor proporción el camarón blanco (3,6 %) y el camarón coliflor (1,2%; Figura 55). El grado de aprovechamiento de esta pesquería se encuentra aún en niveles de sostenibilidad lo que representa un bajo riesgo de sobrepesca para las especies que la sustentan. Los desembarcos de CAS en el Caribe para el 2023, de acuerdo a los registros el SEPEC, estuvieron representados en su totalidad por el camarón rosado (*Penaeus notialis*) y correspondió a 60,76 t, mostrando un ligero incremento respecto a los cinco años anteriores y respresentando solo el 16,7 % de la cuota de pesca establecida para 2023 (364 t; Figura 56). La actividad pesquera de la flota camaronera, está pasando por una situación desde los últimos 15 años, presentando un continuo descenso tanto en las capturas como en el esfuerzo. Aun cuando cada vez son más los barcos que salen de la pesquería, no se evidencia un aumento en las capturas, lo que hace pensar que el recurso no se ha recuperado de la sobreexplotación y agotamiento registrada durante los años 90 (Páramo *et al.*, 2006; Manjarrés *et al.*, 2008; Paramo & Saint-Paul, 2010).

**Limitaciones del indicador**

La información de desembarcos industriales es suministrada por las empresas pesqueras, por lo cual la calidad de las estimaciones depende de la honestidad en los reportes de la industria. A pesar que existe un compromiso del sector pesquero ante la AUNAP, para proveer la información requerida por el INVEMAR, aún se presentan inconvenientes en la colecta de los datos de producción pesquera principalmente en la flota del CAS en el Pacífico colombiano. Cabe mencionar que similar a lo ocurrido en los cuatro últimos años, tampoco fue posible realizar el monitoreo a bordo de la flota con puerto base Tolú, que es donde más actividad hay, debido a la irregularidad con que se viene ejerciendo la actividad. Por este motivo, se obtuvo información del programa de observadores pesqueros de la AUNAP y ejecutado por la Universidad del Magdalena.

**Recomendaciones y alternativas de manejo**

Es necesario que este indicador sea analizado junto a otras variables o indicadores para fines de manejo pesquero (cuotas globales de captura, tallas mínimas y niveles de esfuerzo óptimos). Al ser analizados, se denota que la producción pesquera industrial ha tenido un descenso en los últimos años para la pesquería del CAS principalmente; mientras que la pesca de CAP ha mostrado ser sostenible en los últimos años.

**17. Indicador de abundancia relativa del camarón: pesca industrial nacional****Definición e importancia del indicador**

Representa la cantidad de recurso o captura en función del esfuerzo invertido en la extracción (captura por unidad de esfuerzo; CPUE). Es específico a un arte que posee un poder de pesca propio y se asume que es directamente proporcional a la biomasa disponible de un recurso en su medio natural. Permite inferir el estado del recurso y la eficiencia de arte de pesca. En este caso se reporta el indicador para el CAS y CAP capturado con red de arrastre.

**Fuente de los datos e información**

Base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN, alimentado con apoyo de las empresas pesqueras que desembarcan en Buenaventura. Información secundaria suministrada por la Universidad del Magdalena a través del Servicio Estadístico Pesquero Colombiano- SEPEC, proveniente de los desembarcos que se realizan en los puertos base de Cartagena y Tolú

17. Indicador de abundancia relativa del camarón: pesca industrial nacional

Periodo reportado

2007 a diciembre de 2023 para el Pacífico.  
2010 a diciembre de 2023 para el Caribe.

Reporte o cálculo del indicador

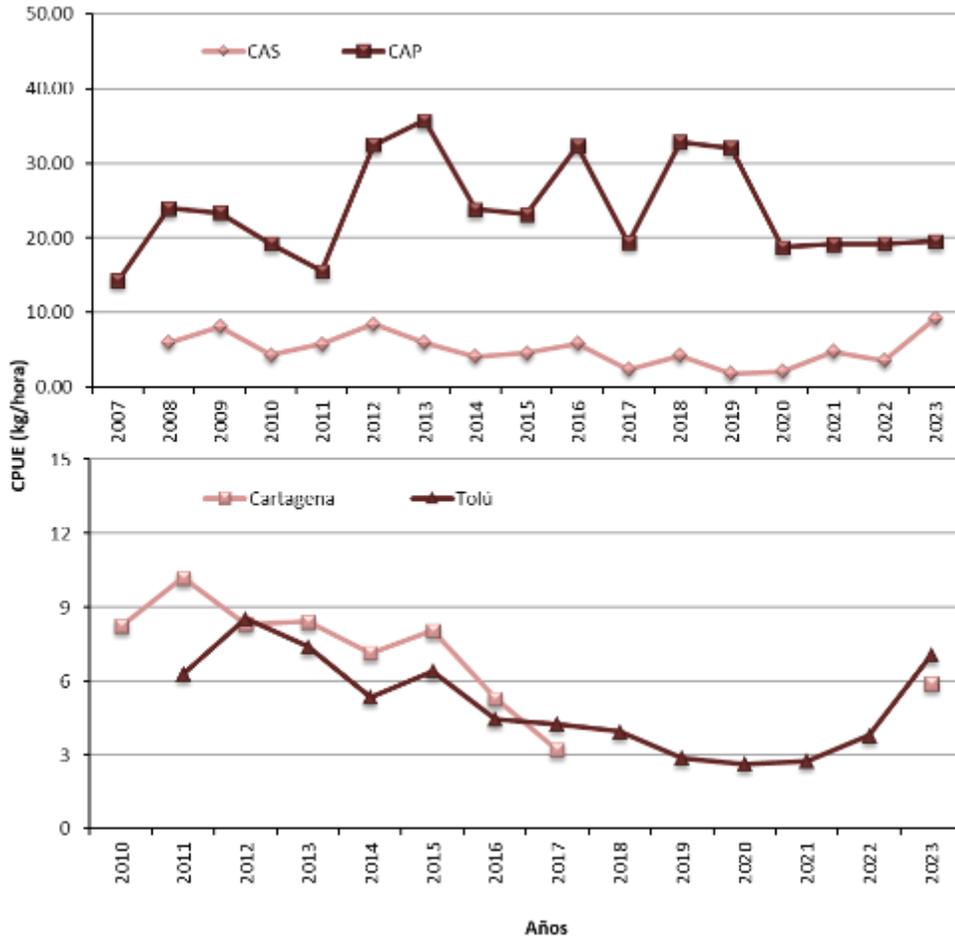


Figura 57. Variación interanual de la captura por unidad de esfuerzo (kg/h) estimada en las pesquerías de camarón del Pacífico (A) y Caribe (B)

Interpretación de los resultados

Durante el 2023, la abundancia relativa del CAS en el Pacífico fue de 9,30 kg/h, lo cual muestra un alto incremento respecto a la reportada para el año inmediatamente anterior (3,60 kg/h; Figura 57A). La continua reducción anual en los desembarcos de la CO, mantiene a esta pesquería en el estado de sobreexplotada, producto de la captura secuencial de este recurso por parte de la pesquería artesanal e industrial. Para este 2023, llama la atención del incremento de la CPUE en la serie. Cabe anotar que los desembarcos se han visto afectados por los constantes problemas de piratería presentados en la flota en los últimos años en toda la costa. Por otro lado, para el CAP se observa un leve aumento de este índice de abundancia relativa con respecto al año anterior. Este indicador pasó de 19,22 kg/h en 2022 a 19,55 kg/h en el 2023 (Figura 57A). No obstante, se considera que el recurso continúa plenamente explotado por lo que se sugiere mantener las actuales medidas de regulación de la pesquería para garantizar su sustentabilidad.

En el Caribe, después de un estabilidad en la abundancia relativa del CAS en los últimos 3 años, se denota un incremento en la CPUE. La flota con puerto base en Tolú mostró un aumento con respecto al año pasado llegando a alcanzar un índice de abundancia relativa de 7,1 kg/h. Para la flota con puerto base en Cartagena, el índice mostró un valor de 5,9 kg/h (Figura 58B), indicado una recuperación respecto a los años anteriores pero aún es necesario continuar el monitoreo para poder evaluar si el recurso muestra signos de recuperación después de estar sobreexplotado.

17. Indicador de abundancia relativa del camarón: pesca industrial nacional
<b>Limitaciones del indicador</b>
La calidad de la estimación de la abundancia relativa o CPUE es altamente dependiente de la información que las empresas pesqueras y la capitanía de puerto suministran tanto de captura como del esfuerzo de pesca respectivamente, por tanto, no contar con toda la información disponible, impide una evaluación más efectiva del recurso. Por este motivo, la información presentada para el Caribe es la registrada por Servicio Estadístico Pesquero Colombiano.
<b>Recomendaciones y alternativas de manejo</b>
Las poblaciones de camarones en Colombia requieren mayor control de las medidas de manejo que permitan su recuperación, principalmente la del CAS. Aunque estas medidas solo se han enfocado al establecimiento de cuotas de pesca, tanto globales como por permisionarios y que aplican solo a la flota industrial, es necesario realizar control sobre la selectividad de los artes, mejoramiento de la tecnología de pesca y el establecimiento de nuevas vedas espacio-temporales y realizar acompañamiento a las existentes. Para el caso del CAS en el Pacífico, urge control sobre el esfuerzo y selectividad de la pesca artesanal. Para el CAP, las medidas de manejo deben dirigirse a mantener niveles de esfuerzo por debajo del máximo rendimiento sostenible que permitan mantener el estado de explotación óptimo con el que hoy cuenta la flota.

18. Indicador de talla media de captura (TMC): pesca industrial nacional de camarón
<b>Definición e importancia del indicador</b>
La talla media de captura (TMC) es la longitud promedio de los individuos de una población extraída con un arte de pesca específico y en un área de pesca dada. La información de TMC permite detectar la presión causada por la pesca sobre la estructura de la población. Al compararla con la talla de madurez (TM), se pueden recomendar medidas de manejo dirigidas a la reglamentación de artes de pesca en términos de selectividad o incluso el de vedar algún arte de pesca por su impacto sobre las poblaciones explotadas.
<b>Fuente de los datos e información</b>
Base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN, alimentado con apoyo de las empresas pesqueras que desembarcan en Buenaventura.
<b>Periodo reportado</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2004 - 2023 en el Pacífico de Colombia.</li> <li>• 2010 - 2022 en el Caribe colombiano</li> </ul>
<b>Reporte o cálculo del indicador</b>

18. Indicador de talla media de captura (TMC): pesca industrial nacional de camarón

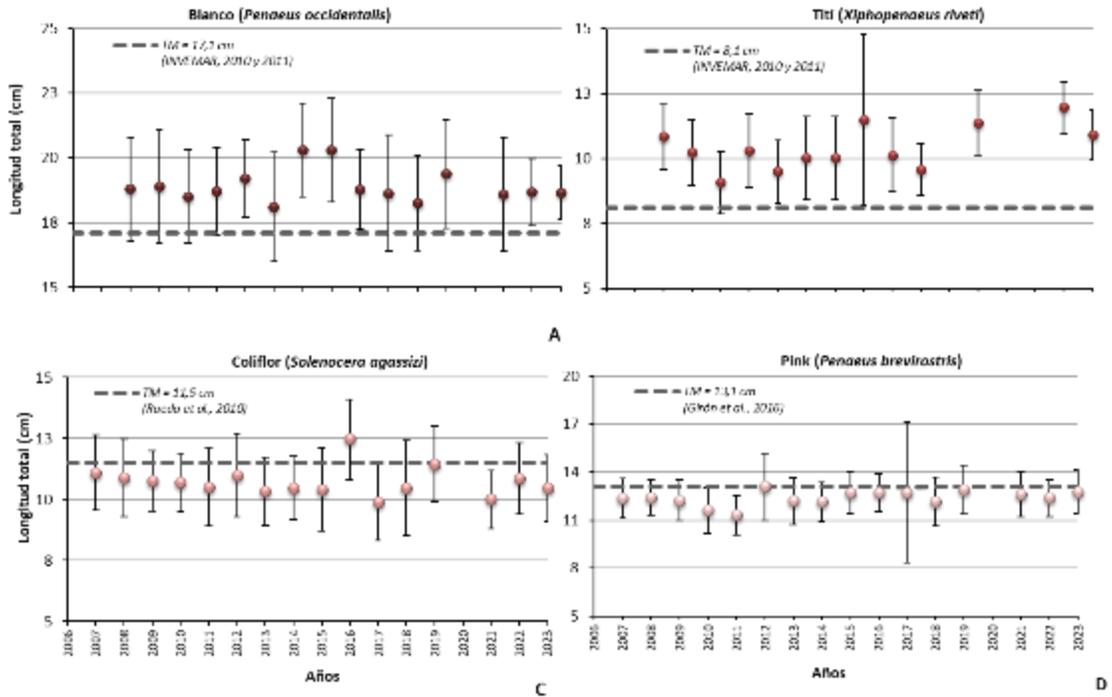


Figura 58. Variación interanual de la talla media de captura (TMC) de las hembras de las principales especies en las pesquerías de camarón del Pacífico con respecto al punto de referencia límite (PRL) que es la talla de madurez sexual (TM).

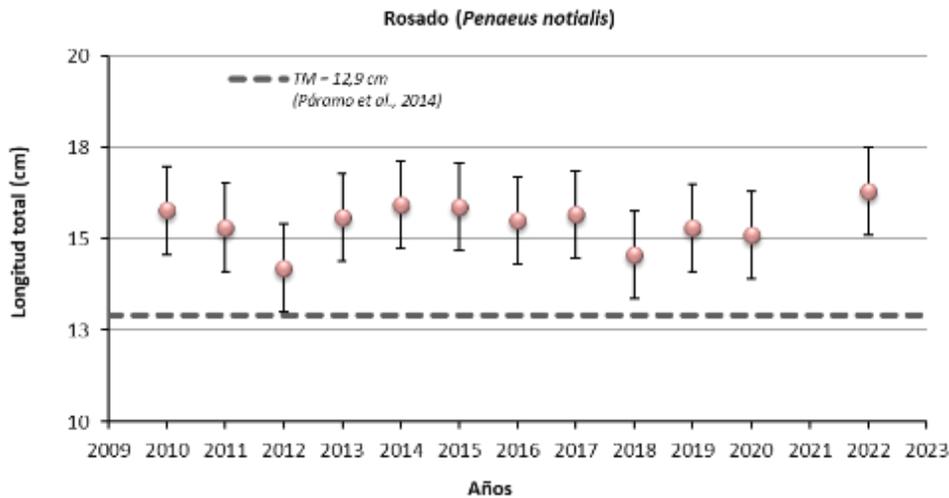


Figura 59. Variación interanual de la talla media de captura (TMC) de las hembras de camarón rosado *Farfantepenaeus notialis*, principal especie en la pesquería de cas del Caribe colombiano con respecto al punto de referencia límite (PRL).

Interpretación de los resultados

Las TMC de las especies de camarón de aguas someras del Pacífico mantuvieron su comportamiento respecto a la TM, los valores calculados (18,7 cm para camarón blanco, *P. occidentalis* y 10,9 cm para camarón tití *Xiphopenaeus riveti*) mantuvieron su talla por encima del PRL (Figura 59 A y B). Para las principales especies del CAP, el camarón coliflor (*S. agassizi*) mostró, para 2023, una TMC de 10,5 cm, estando por debajo del PRL (11,5 cm; Figura 59) (Rueda, y otros, 2010).

**18. Indicador de talla media de captura (TMC): pesca industrial nacional de camarón**

Así mismo, el camarón pink (*P. brevirostris*), presentó una TMC (12,8 cm) por debajo del PRL (13,1 cm (Giron-Montaño, Rueda, Eraso-Ordoñez, & Rodríguez-Jiménez, 2016), evidenciando un alto riesgo de sobrepesca por reclutamiento para estas especie (Figura 59). Este PRL fue actualizado y las TMC históricas siempre se ubicaron por debajo de la TM Figura 59 D). Para el CAS en el Caribe, la TMC para el *P. notialis* no ha sido reportada por el SEPEC para el año 2023 por lo que es el recurso con la información histórica, ha sido capturado por encima del PRL (12,9 cm) (Páramo, Perez, & Wolff, 2014) Figura 59.

**Limitaciones del indicador**

La TMC fue calculada sólo para los organismos que hacen parte de la fracción de pesca objetivo. Así, si existe una cantidad de estos organismos que no hacen parte de esta fracción, este indicador deberá recalcularse. Dado que el PRL usado es la TM, la calidad de esta estimación incide directamente en la interpretación de la TMC. Para esto es necesario siempre contar con información proveniente de seguimientos a bordo de la especie, para lo cual es indispensable el apoyo de la industria pesquera en el Pacífico.

**Recomendaciones y alternativas de manejo**

Se sugiere realizar evaluaciones de selectividad del arte para disminuir el riesgo de sobrepesca por crecimiento del camarón coliflor y del camarón pink (Millar & Fryer, 1999) que puedan apoyar la regulación de los tamaños de malla en algunas secciones de la red de arrastre de modo que pueda beneficiarse el recurso con un probable incremento en la TMC. Por otro lado, se debe limitar la exportación y captura de los individuos de la talla comercial 100-120, las cuales albergan a los camarones más pequeños y compone el 60% del volumen de capturas.

**19. Indicador de proporción de pesca incidental y descartes: pesca industrial nacional de camarón**

**Definición e importancia del indicador**

La fauna acompañante de una pesquería está compuesta por los recursos que no son el objetivo de la actividad, pero que aun así son capturados. Estos recursos pueden clasificarse en captura incidental (CI) (pesca no objetivo que tiene valor comercial) y descartes (especies sin valor comercial y que son devueltas al mar generalmente sin vida). Conocer los porcentajes de fauna acompañante y la relación que tiene con la captura objetivo (FA/CO), permite determinar el impacto de la pesca sobre la biodiversidad marina; sin embargo, el interés de las medidas de manejo deben ir dirigido a reducir el volumen de los descartes, pues las capturas incidentales basadas en individuos de tallas por encima de la talla de madurez, son aprovechados por interés del mercado con beneficios a las comunidades que dependen para su seguridad alimentaria y empleo de esta fracción de la pesca de esta pesquería.

**Fuente de los datos e información**

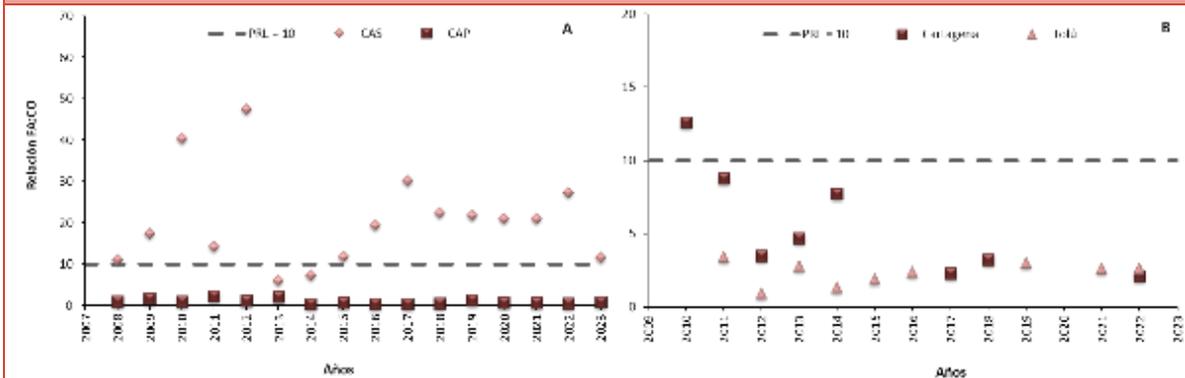
Base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN, alimentado con apoyo de las empresas pesqueras que desembarcan en Buenaventura.

Información secundaria suministrada por la Universidad del Magdalena a través del Servicio Estadístico Pesquero Colombiano- SEPEC, proveniente de los desembarcos que se realizan en los puertos base de Cartagena y Tolú

**Periodo reportado**

2005 a diciembre de 2023 para el Pacífico.  
2010 a diciembre de 2022 para el Caribe.

**Reporte o cálculo del indicador**



**Figura 60. Variación interanual de la relación fauna acompañante/captura objetivo (FA/CO) en las pesquerías de camarón del Pacífico (A) y el Caribe colombiano (B).**

**Interpretación de los resultados**

En la pesquería del CAS en el Pacífico colombiano la relación FA/CO para el 2023 fue de 11,6, superior al PRL establecido en 10, pero mucho más bajo que los cinco años anteriores (Figura 60A). Esto indica una fuerte presión sobre la fauna asociada, principalmente por la captura incidental CI, la cual se ha convertido en una pesca dirigida para garantizar la rentabilidad de la actividad actualmente, debido a su valor comercial y aprovechamiento, además del evidente estado de sobrexplotación de la CO. Se resalta el hecho que las capturas de especies que no son objetivo de la pesquería y que en su mayoría son descartadas, son organismos juveniles que en su fase adulta son base para las pesquerías artesanales costeras (Seijo *et al.*, 1998), por lo que en la actualidad se cuenta con iniciativas para la disminución de esta fracción de la captura de la pesca de arrastre. En la pesquería del CAP, la relación FA/CO fue de 0,8, lo cual guarda similitud a lo reportado los últimos años, sugiriendo que el impacto de esta pesquería sobre la biodiversidad asociada es bajo, en comparación con la pesca del CAS (Figura 60A).

Para la flota de CAS en el Caribe, para el 2023 no se contó con datos de monitoreo a bordo por lo que se mantiene el valor de 2,12 para la flota con puerto base en Tolú y de 3,2 para la flota con puerto base en Cartagena (Figura 60B). Teniendo en cuenta el comportamiento de la relación FA/CO para el caso de CAS en el Caribe, esta se ha venido comportando de acuerdo a los cambios de los sitios de pesca, profundidad y otros factores como pluviosidad y distanciamiento de desembocaduras de ríos ha podido incidir en la mayor o menor captura de fauna acompañante, afectando directamente dicho coeficiente.

**Limitaciones del indicador**

Este indicador depende de la representatividad del muestreo a bordo y de las áreas geográficas donde se concentre el monitoreo, dada la variabilidad espacial de la biodiversidad marina. No existe un punto de referencia límite general de FA/CO

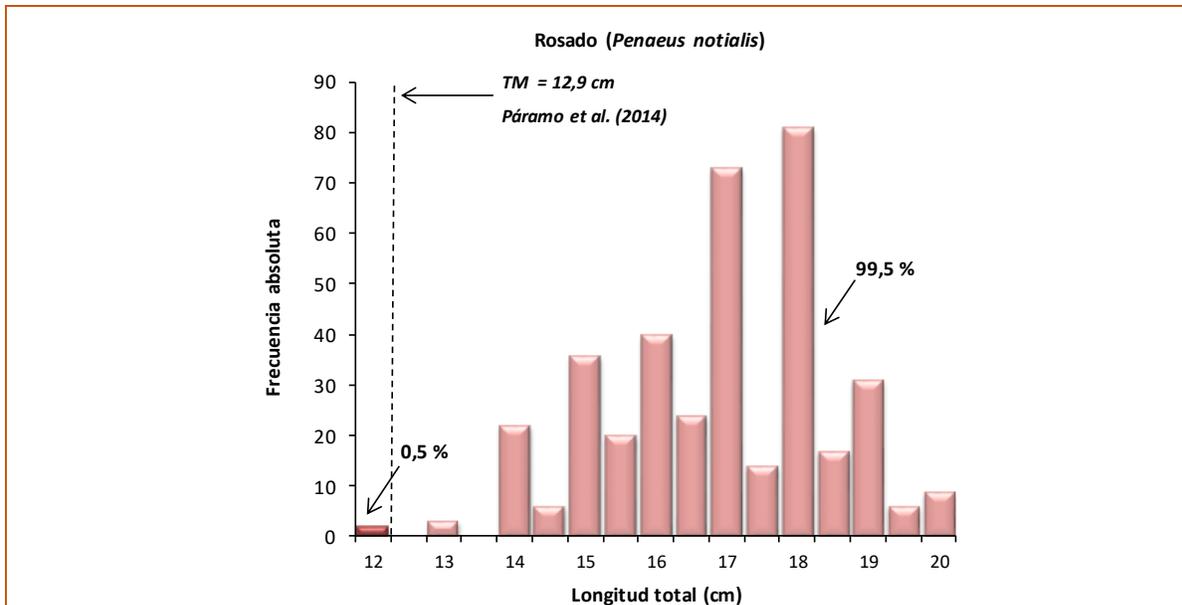
**19. Indicador de proporción de pesca incidental y descartes: pesca industrial nacional de camarón**

por lo cual se toma para áreas en particular, aunque lo deseable es reducirlo al máximo. Se usa en este caso un valor que ha sido aproximado a las zonas tropicales del mundo, pero que incluso puede llegar hasta un factor de 24.

**Recomendaciones y alternativas de manejo**

Para todas las flotas de pesca industrial por arrastre en Colombia, se recomienda implementar el uso obligatorio de dispositivos reductores de fauna acompañante para peces (Rueda *et al.*, 2006; Girón *et al.*, 2010; Manjarrés *et al.*, 2008), velar por el cumplimiento del excluidor de tortugas o realizar ajustes en los tamaños de malla que sean diferenciales a lo largo del cuerpo de la red para incrementar el escape de fauna acompañante. Lo anterior como medida para reducir el impacto sobre la biodiversidad, promoviendo una pesca limpia y responsable en las pesquerías de camarón. Existe resolución de la AUNAP (No. 2988 de 2021), la cual promueve la introducción gradual de redes de arrastre selectivas para el CAS y CAP, producto del proyecto REBYC-II LAC, el cual evaluó cambios en el material de las redes, tamaños de malla e inclusión de un dispositivo excluidor de peces juveniles y se llegaron a modelos prototipos adoptados por la AUNAP.

20. Indicador de fracción desovante/juvenil de las capturas: pesca industrial nacional de camarón	
<b>Definición e importancia del indicador</b>	
<p>La fracción de juveniles de una población son individuos ya formados, pero aun no han alcanzado la madurez sexual y por tanto no tienen la capacidad para reproducirse. Si las capturas por pesca impactan una proporción importante de juveniles y esta es mayor que la de los adultos, se ponen en riesgo los procesos reproductivos y de crecimiento de las poblaciones. Así mismo, una reducción de la población desovante afectaría los niveles de reclutamiento y por tanto la sostenibilidad del recurso en el tiempo.</p>	
<b>Fuente de los datos e información</b>	
<p>Base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN, alimentado con apoyo de las empresas pesqueras que desembarcan en Buenaventura, Cartagena y Tolú.</p>	
<b>Periodo reportado</b>	
<p>2023 para el Pacífico y 2022 para el Caribe.</p>	
<b>Reporte o cálculo del indicador</b>	
<p><b>Blanco (<i>Penaeus occidentalis</i>)</b>              n = 788              TM = 17,1 cm              Invemar (2010 y 2011b)</p> <p>8,7% (juvenil)   91,3% (adulto)</p> <p><b>Pink (<i>Penaeus brevisirostris</i>)</b>              n = 2775              TM = 13,1 cm              Giron et al. (2016)</p> <p>69,7% (juvenil)   30,3% (adulto)</p>	
<p><b>Figura 61. Estructura de tallas para las hembras de la principal especie objetivo en las pesquerías de CAS (izquierda) y de CAP (derecha) del Pacífico colombiano durante 2023, indicando la fracción juvenil y adulta de las capturas y el valor de la talla de madurez (TM).</b></p>	



**Figura 62. Estructura de tallas para las hembras de la principal especie objetivo en la pesquería de CAS del Caribe colombiano durante 2022, indicando la fracción juvenil y adulta de las capturas y el valor de la talla de madurez (TM).**

**Interpretación de los resultados**

Las hembras muestreadas en la pesquería del CAS del Pacífico para el *Penaeus occidentalis* fueron en su mayoría maduras (91,3 %). Esto indica una baja presión de pesca sobre la estructura poblacional de estos recursos (Figura 61). Contrario a lo sucedido con el CAP, la proporción de hembras maduras fue baja, siendo solo el 30,3 % para el camarón pink (Figura 61), durante el periodo de muestreo. Esta pesquería ejerce una mayor presión sobre la población sub-adulta y juvenil que, en la pesquería de CAS, lo que implicaría un riesgo de sobrepesca por reclutamiento para la especie, afectando la disponibilidad de biomasa. Para el CAS del Caribe, históricamente se ha reportado que la mayor porción de hembras capturadas son mayores a la TM, por lo que no hay riesgo de sobrepesca por crecimiento (Figura 62).

**Limitaciones del indicador**

Debido a que este indicador es calculado a partir de seguimiento a bordo de la flota, es importante que las muestras sean representativas de la distribución de la población. Además, es determinante la precisión de la estimación de la TM que se usa como PRL.

**Recomendaciones y alternativas de manejo**

Es muy importante que además de lo sugerido en el indicador TMC, se considere el diseño de vedas espacio -temporales para el recurso camarón, sobre el de CAP en el Pacífico, sin eliminar las vedas temporales en los periodos de desove y reclutamiento. Continuar con el seguimiento del ciclo reproductivo de las especies objetivo de explotación, permitirá tener datos consistentes y continuos para soportar la toma de decisiones.

**21. Indicador de rentabilidad económica: pesca industrial nacional de camarón**

**Definición e importancia del indicador**

Son las ganancias generadas por unidad de pesca una vez del ingreso bruto producto de la pesca se han descontado los costos totales (fijos, variables o de oportunidad). El uso de variables económicas en pesca junto con las bioecológicas, es clave para alcanzar el aprovechamiento racional de los recursos bajo varias perspectivas.

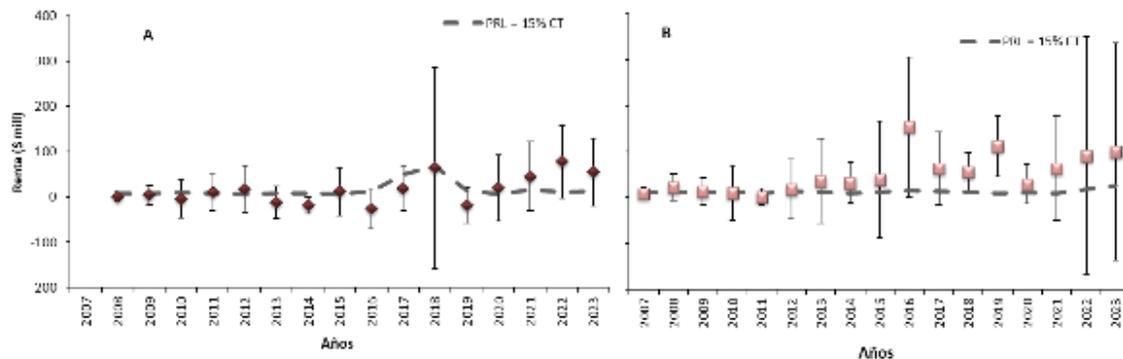
**Fuente de los datos e información**

Base de datos del Sistema de Información Pesquera del INVEMAR – SIPEIN, alimentado con apoyo de las empresas pesqueras que desembarcan en Buenaventura.

**Periodo reportado**

2007 a 2023 para el Pacífico.

**Reporte o cálculo del indicador**



**Figura 63. Variación interanual de la renta promedio por faena (±DE) en las pesquerías de CAS (A) y CAP (B) en el Pacífico colombiano. CT = Costos totales. (--- PRL = 15% más de los CT).**

**Interpretación de los resultados**

Se estableció arbitrariamente como PRL que la renta correspondiera al 15% de los costos totales promedio de una faena. En la pesquería del CAS en el Pacífico, la renta promedio fue de \$55,4 millones ± DE 74,3 millones, muy por encima del PRL que para este año estuvo en \$13,2 millones (Figura 63 A). Es de anotar que parte importante de los ingresos de esta pesquería lo constituye la captura incidental, la cual representa hasta un 50% de los ingresos, lo cual es indispensable en la actualidad para alcanzar el margen de utilidad, generando un impacto variable sobre la biodiversidad asociada. Para la pesquería del CAP, la renta económica fue de \$99,8 millones ± DE 236,4 millones, como es constante en esta pesquería la renta estuvo por encima del PRL el cual fue de \$25,8 millones, lo que demuestra el buen desempeño económico de esta flota en los últimos años. Esto se ha mantenido gracias a la abundancia del recurso y los buenos precios del mercado internacional (Figura 63B). Los ingresos para esta flota provienen en su mayoría de la captura objetivo.

**Limitaciones del indicador**

La toma de información confiable depende de las empresas del sector pesquero lo que en ocasiones se ve afectado por la honestidad de algunos en el suministro de la información sobre todo económica, el abordaje y búsqueda que información de la flota se afecta por los problemas de orden público. La oferta y demanda del mercado pueden afectar la estimación de indicadores económicos, sin tener relación directa con la disponibilidad de los recursos. Al existir en el Caribe permisionarios particulares, no fue posible obtener información completa sobre los gastos e ingresos de cada faena de pesca.

Recomendaciones y alternativas de manejo
<p>Tanto para las pesquerías de CAS del Pacífico como para la del Caribe, se reitera la urgencia de establecer alternativas de diversificación pesquera como, por ejemplo, la utilización de redes de arrastre de pesca demersal, más selectivas que permitan el aumento de sus ingresos a medida que se eleven las capturas de especies de peces de alto valor comercial, pero sin comprometer la salud del ecosistema. Es necesario evaluar la sostenibilidad económica de la actividad a la luz del costo ambiental que genera. Debido a la disminución de la flota pesquera de CAS con puerto base Cartagena y a la situación que se presenta en las embarcaciones con puerto base en Tolú, se hace necesario mantener y fortalecer las relaciones con la Autoridad Pesquera y con los armadores pesqueros con el fin de viabilizar de una manera más ágil la participación de investigadores en cada una de las faenas. Así mismo, estas empresas y/o permisionarios deberán seguir aportando la información de la pesquería a la AUNAP de manera más completa incluyendo tanto el esfuerzo pesquero como aspectos económicos de la flota, para garantizar información confiable a la hora de realizar las evaluaciones.</p>

22. Índice de precios de comercialización primaria de la pesca artesanal
Definición e importancia del indicador
<p>El índice de precios de comercialización primaria de la pesquería artesanal de la CGSM (IPCG) es un indicador del comportamiento mensual de precios al por menor de las especies comercializadas en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM).</p> <p>El IPCG es importante porque mide el cambio de precios de la pesquería, recurso natural con alto valor socioeconómico del que dependen las poblaciones humanas que viven en la región (Ramsar, 2017), el índice es útil para el cálculo de los cambios en el ingreso real de la pesquería de la CGSM.</p>
Fuente de los datos e información
<p>Sistema de Información Pesquera de INVEMAR (SIPEIN) (INVEMAR, 2019). Periodicidad en la producción de los datos: reporte mensual. Frecuencia de registro de los datos: diarios, mínimo tres días por semana (Viloria, 2017). Variable utilizada para el cálculo: ingresos totales (IT) por unidad de pesca, correspondiente a los ingresos generados por la primera venta en el sitio de desembarco (Viloria, 2017). Cobertura geográfica: Ciénaga Grande de Santa Marta.</p> <p>El SIPEIN registra información de más de 100 especies para la CGSM, para la construcción de la canasta de especies fueron seleccionadas 18 especies que registran información en todos los periodos de tiempo analizados: Arenca, Bocachico, Carrura, Chivo Cabezón, Coroncoro, Jaiba Roja, Lebranche, Lisa, Macabi, Mapale, Mojarra Blanca, Mojarra Lora, Mojarra Peña, Mojarra Rayada, Moncholo, Robalo Largo, Robalo Pipón y Sábalo; estas especies acumulan el 76% de las capturas y 86% de los ingresos en el periodo analizado.</p>
Periodo reportado
<p>Información mensual en el periodo 2000 – 2022: con ausencia de registro en enero (2003); enero (2007); enero (2009); enero (2010); enero (2011); enero (2012); enero y febrero (2013); enero (2015); noviembre (2016); enero (2019); y enero, abril y mayo (2020).</p>
Reporte o cálculo del indicador
<p>Forma de cálculo: la estimación se realiza con el precio del primer intercambio efectuado entre pescador y comprador. Para el cálculo se utilizó un índice de precios tipo Laspeyres (<math>IPL_t</math>) tomando como periodo base el mes diciembre de 2018 (ver United Nations, 2009):</p> $IPL_t = \frac{\sum_i p_i^t q_i^b}{\sum_i p_i^b q_i^b}$ <p>Donde <math>p_i^b</math> = precio del bien en el mes base                  Donde <math>p_i^t</math> = precio del bien en el mes t                  Donde <math>q_i^b</math> = cantidades vendidas en el mes base</p>

22. Índice de precios de comercialización primaria de la pesca artesanal

La variación de precios ( $V_t$ ) se calcula como la razón de cambio del índice de Laspeyres:

$$V_t = \frac{IPL_t - IPL_{(t-1)}}{IPL_{(t-1)}}$$

La variación mensual corresponde a la razón de cambio del índice de Laspeyres de meses consecutivos; para la variación anual se utiliza la razón de cambio del índice del mes analizado con respecto al índice de diciembre del año anterior.

Interpretación de los resultados

Los resultados evidencian la compleja dinámica de los precios de la pesquería de la CGSM, existen periodos con precios que se duplican y periodos con precios estables. El año 2011 presentó el mayor cambio en el nivel de precios mensuales: tuvo el mayor incremento de precios en junio, mes en el que los precios casi se duplican (90%) comparado con los precios de mayo; también, presentó la mayor variación negativa de precios en el mes de julio, mes en el que los precios se disminuyeron a la mitad de los observados en junio. Por el contrario, el año 2014 presentó estabilidad de los precios, con incrementos que no superaron el 10% Figura 64.

El último año de análisis (2022), los precios presentaron cambios drásticos entre julio y octubre, para los demás meses se observó mayor estabilidad en los precios (cercanos al 0%). Existió una disminución generalizada de los precios de la pesca en agosto, con un valor de por encima del 20% de disminución de precios comparado con julio; consecutivamente, septiembre presentó la variación mensual positiva más alta, con un valor superior al 30% de aumento de precios con respecto al nivel de agosto (Figura 64).

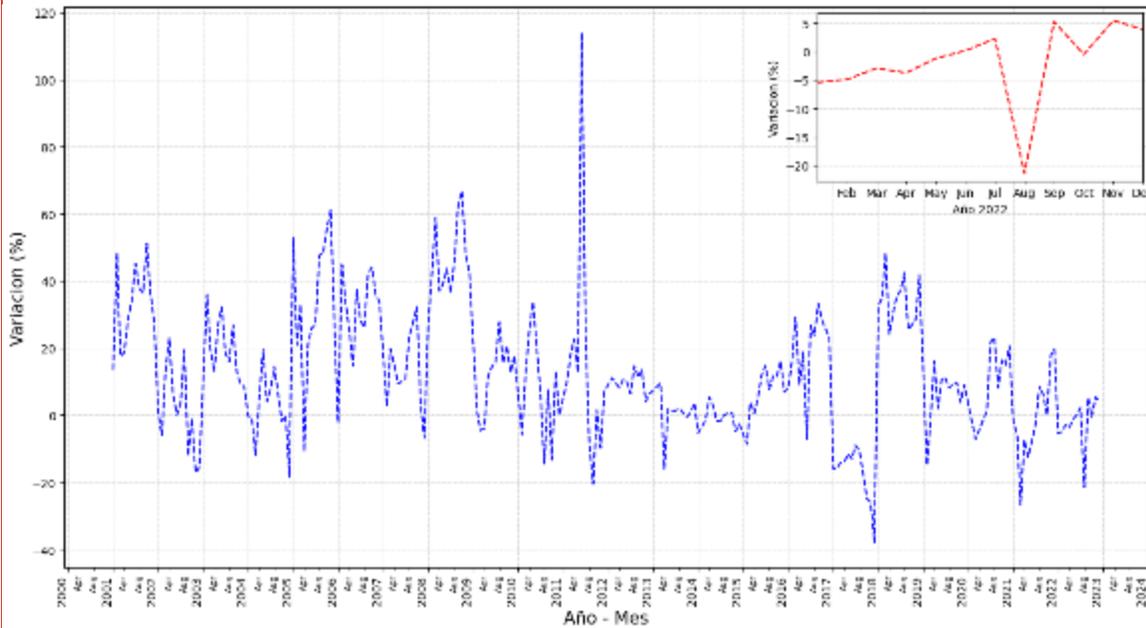


Figura 64. Variación anual de precios enero 2000 – diciembre 2022 (diciembre 2018=100)

La variación acumulada anual de precios presenta alta volatilidad: la variación positiva más alta se presentó en junio de 2011 con un valor de 114% con respecto a diciembre del 2010; diciembre de 2017 presentó el nivel de precios más bajo con -38% con respecto a diciembre del 2016 (Figura 64).

## 22. Índice de precios de comercialización primaria de la pesca artesanal

El año 2022 inicia con la disminución de los precios de comercialización con valores por debajo del 5% con respecto a diciembre del 2021, pero, la variación anual negativa presenta tendencia a la disminución, hasta alcanzar un incremento positivo de precios para julio (superior a 0). Agosto presentó un comportamiento atípico con respecto al resto del año, puesto que, existe un choque negativo sobre el nivel de precios que alcanza un valor por debajo del 20%. Para septiembre, la variación de precios es positiva (cerca al 5%). El resto del año el cambio de los precios es positivo y cercano al 5% (Figura 64).

### Limitaciones del indicador

La recolección de precios se realiza a través de entrevistas a pescadores en el lugar de comercialización, lo que puede generar sesgos.

### Recomendaciones y alternativas de manejo

El IPCG puede ser utilizado para conocer el comportamiento de los precios del mercado de la pesquería de la CGSM, responde a la pregunta ¿Cuál fue el cambio en los precios? Investigaciones futuras pueden responder preguntas sobre porque cambian los precios, combinando el análisis con variables sociales, ambientales y económicas.

# CAPÍTULO IV

## INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DE LOS ESPACIOS OCEÁNICOS Y ZONAS COSTERAS E INSULARES DE COLOMBIA: INDICADORES DE RESPUESTA



Taller Nacional de Manglares realizado en El Cuerval, zona costera del departamento de Cauca 2023 – Foto:

## INTRODUCCIÓN

La Zona Costera (ZC) es un espacio complejo donde se generan importantes procesos ecológicos, económicos e institucionales que requieren una planificación y manejo enfocado a conciliar el uso del espacio y de los recursos naturales. Es así como el conocimiento de la dinámica de los problemas de las ZC y su tratamiento particular, participativo y dinámico mediante el Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) (Steer et al., 1997), se asume como eje central y organizativo para la toma de decisiones enfocada a la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica marina y costera, siendo una meta internacional promovida desde la Convención de RAMSAR (1971), la “Cumbre de la Tierra” (Río de Janeiro, 1992) y adoptada en los planes de acción de la “Agenda 21” del Convenio sobre la Diversidad Biológica (ONU, 1992), lo cual ha sido ratificado en convenciones posteriores incluyendo además otros planteamientos para el ordenamiento como la planificación espacial marina – PEM, como mecanismo para aportar a la conservación de la biodiversidad marina y costera (COP 14/2018, COP 15/2021). Igualmente, la Convención de Cambio Climático, en el artículo 4, plantea el concepto de MIZC, como un enfoque que puede contribuir a la adaptación a los impactos de cambio climático.

A su vez, en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS y en especial el objetivo 13 y 14 con la Declaración del “Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible 2021-2030”, el tema de conocimiento sirve de eje para su declaratoria, enfocándose en que este Decenio brinde una oportunidad única en la vida para sentar las nuevas bases entre ciencia y política a fin de fortalecer la gestión de nuestros océanos y costas en beneficio de la humanidad (UNESCO-COI, 2019).

Bajo este contexto Colombia ha fortalecido su compromiso con la CDB y el Mandato de Jakarta (1995) a través de varios procesos de planificación para la conservación y el Ordenamiento Ambiental del Territorio (OAT) tanto en el Caribe como en el Pacífico colombiano, los cuales han sido orientados bajo el marco internacional MIZC y la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia” PNAOCI (MMA, 2001), sustentan y apoyan, bajo estrategias complementarias, la sostenibilidad de la base natural y el OAT. Así mismo, el INVEMAR ratifica su alto grado de compromiso a el Decenio, desde su misión de enfocar y propender el trabajo en la “Ciencia que necesitamos para el océano que queremos”, en especial en desarrollar ciencias oceánicas y proporcionar datos e información para la elaboración de políticas bien informadas con el objetivo de garantizar el buen funcionamiento del océano a favor de los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (UNESCO-COI, 2019).

Los procesos MIZC desarrollados entre Institutos de Investigación en ciencias del mar, Corporaciones Autónomas Regionales, actores locales y otros agentes gubernamentales y no gubernamentales han permitido analizar las implicaciones del desarrollo, los conflictos de uso, guiar el fortalecimiento de las instituciones, las políticas y la participación local a la toma de decisiones; y al mismo tiempo, han apoyado la sostenibilidad ambiental sectorial, mediante lineamientos ambientales para el desarrollo de actividades productivas en la ZC. Estos procesos en algunos casos, ya se han compatibilizado con los planes de OAT y, por otro lado, han estado en concordancia con ejercicios de planificación para identificación de áreas prioritarias

de conservación, donde estos últimos, apoyan el establecimiento de regiones integrales de planificación y OAT con responsabilidades claramente definidas (MMA, 2001), en donde, por ejemplo, mediante el fortalecimiento del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas SINAP, se permite dar un sustento técnico-científico y mayor responsabilidad a los gobiernos regionales y locales para asumir metas de conservación e implementar la gestión eficaz que las garantice. Es así como la sostenibilidad ambiental y el OAT constituyen la base para el MIZC, y complementariamente

permiten definir las prioridades de manejo y pautas ambientales para áreas específicas, aportando a los planes de desarrollo, ordenamiento territorial, gestión ambiental, en el orden departamental y municipal (Figura 65), así como a los planes de manejo de los consejos comunitarios y los planes de vida de las comunidades indígenas.

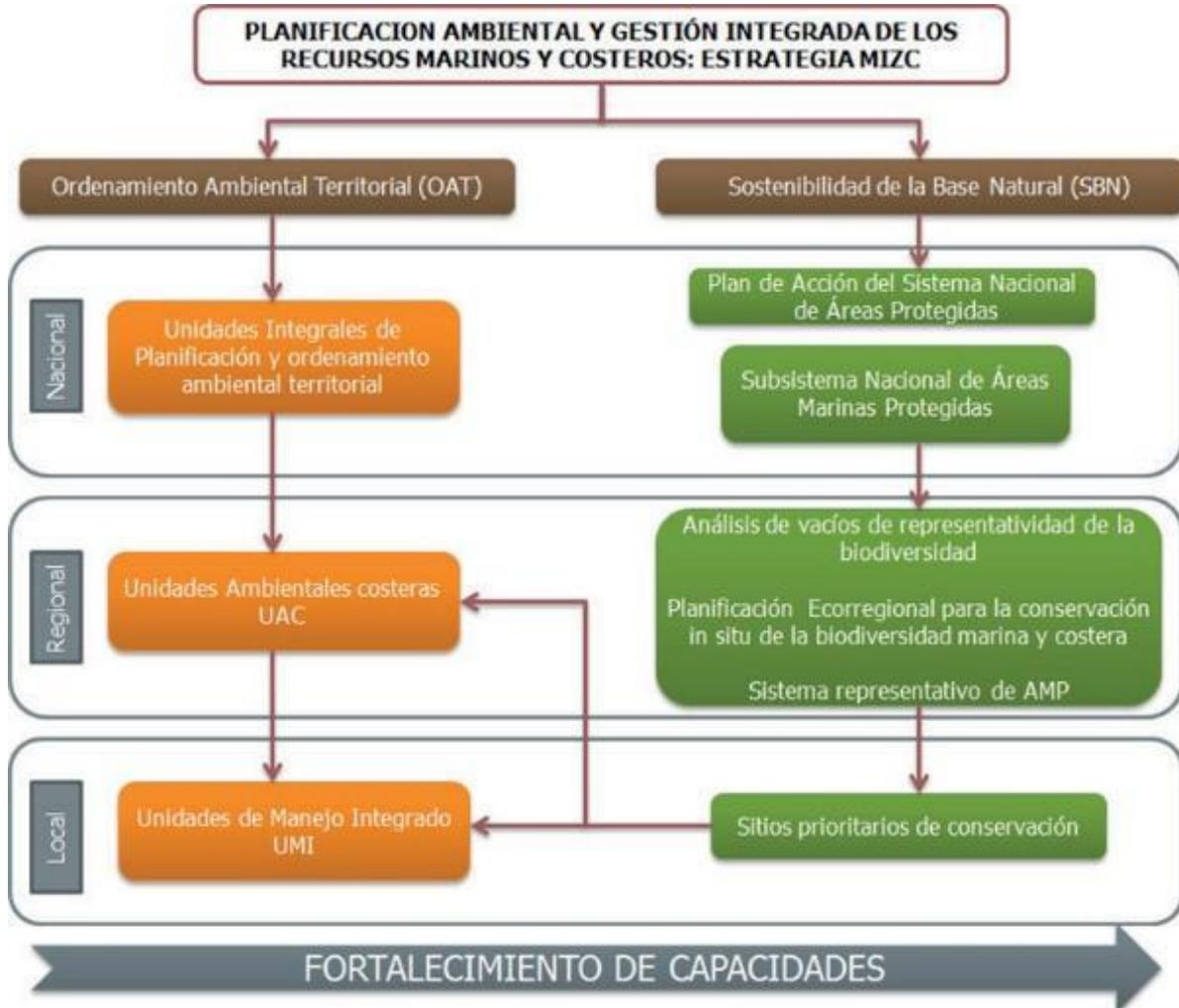


Figura 65. Esquema de las acciones desarrolladas para la planificación ambiental y la gestión integrada de los ambientes marinos y costeros en Colombia.

La estrategia que permite incluir al MIZC como orientador de los esfuerzos públicos y privados para la planificación integral del desarrollo es el OAT, cuyo objetivo es conocer y valorar los recursos naturales a fin de reglamentar las prioridades y los usos sostenibles del territorio, así mismo establece las instancias claras para su desarrollo dentro del proceso de administración (MMA, 2001).

La PNAOCI define tres Unidades Integrales de Planificación y Ordenamiento Ambiental Territorial: Región Pacífico, Región Caribe Insular y la Caribe Continental y Oceánica, las cuales integran y estructuran las políticas y las acciones públicas y privadas encaminadas al desarrollo sostenible de las áreas marinas y costeras. Cada unidad alberga Unidades Ambientales Costeras y Oceánicas (UACO), en donde la planificación se lleva a cabo, bajo un enfoque y manejo integral, para desarrollar eficientemente procesos de zonificación, lineamientos y pautas de manejo específicas a las problemáticas de cada unidad.

La metodología propuesta para llevar a cabo la adopción del MIZC en Colombia y la formulación de los planes de manejo integrado en cualquier unidad de manejo se denomina metodología COLMIZC. Esta consta de un período de preparación, y cuatro etapas que incluyen caracterización y diagnóstico, formulación y adopción, implementación y evaluación (Figura 66).

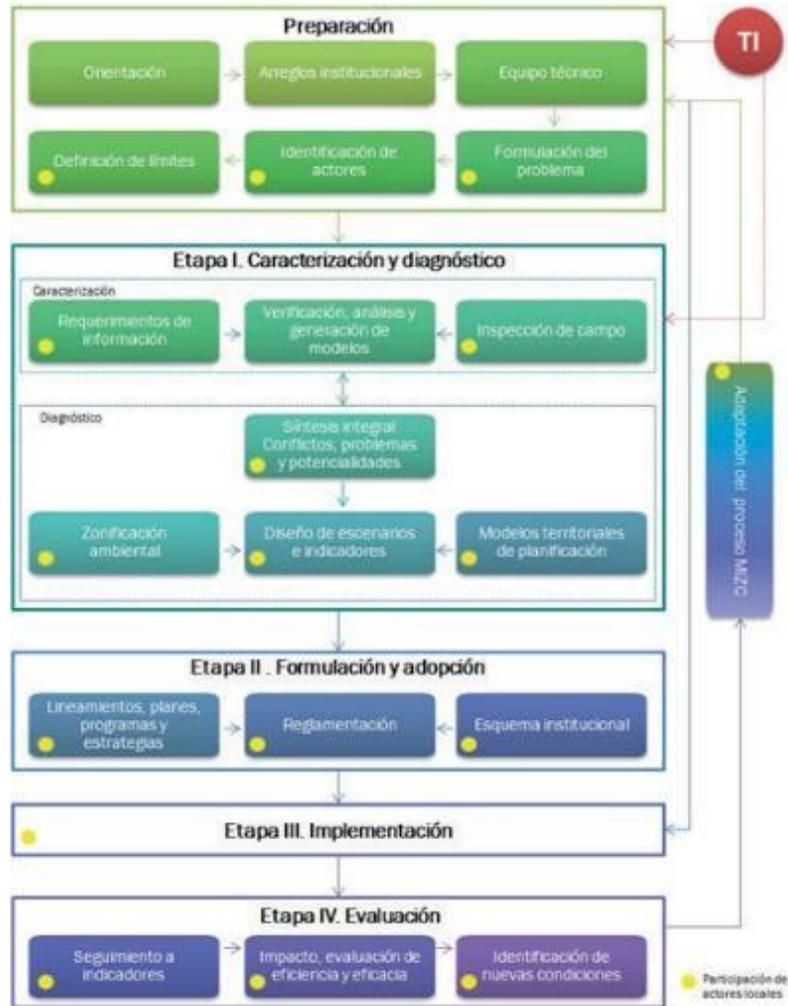


Figura 66. Metodología COLMIZC. Tomado de (Rojas-Giraldo et al., 2010).

## MANEJO INTEGRADO DE ZONAS COSTERAS Y PLANIFICACIÓN ESPACIAL MARINA

En las zonas costeras se generan importantes procesos ecológicos, económicos, culturales e institucionales que requieren una planificación y manejo orientado a armonizar el uso del espacio y de los recursos naturales. Es así como el conocimiento de la dinámica de los problemas y su tratamiento particular, participativo y dinámico mediante el Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) (Steer *et al.*, 1997) se asume como eje central y organizativo para la toma de decisiones enfocada a la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica marina y costera (ONU, 1992). La implementación del MIZC como herramienta para el desarrollo sostenible de las zonas marinas y costeras y como fundamento de planificación ambiental territorial, es una estrategia reconocida a nivel mundial desde la convención de Río de Janeiro de 1992, el Mandato de Jakarta de la Convención de Diversidad Biológica (1995) y la Convención de Johannesburgo (2002).

Estos temas se ratifican en la declaración final de Río +20, que en su artículo 158, reconoce que los océanos, los mares y las zonas costeras constituyen un componente integrado y esencial del ecosistema terrestre y son fundamentales para mantenerlo, y que el derecho internacional, reflejado en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, proporciona el marco jurídico para la conservación y uso sostenible de los océanos y sus recursos. Destaca la importancia de la conservación y uso sostenible de los océanos y mares y sus recursos, en particular mediante su contribución a la erradicación de la pobreza, el desarrollo económico sostenido, la seguridad alimentaria, la creación de medios de vida sostenibles y trabajo decente, y al mismo tiempo, la protección de la biodiversidad y el medio marino y las medidas para hacer frente a los efectos del cambio climático. Finalmente, aplicar efectivamente un enfoque ecosistémico y de precaución en la gestión, de conformidad con el derecho internacional, de las actividades que tengan efectos en el medio marino para lograr las tres dimensiones del desarrollo sostenible.

Por lo anterior, frente a los compromisos adquiridos por Colombia ante estos convenios y los actuales conflictos de uso y manejo desordenado de los recursos marino costeros, se ha avanzado en la adopción del MIZC, como marco articulador de la gestión sostenible y desarrollo e investigación marina, con la adopción e implementación de la “Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y Zonas Costeras e Insulares de Colombia” PNAOCI (MMA, 2001), la cual responde a la necesidad de articular de forma integral el desarrollo institucional, territorial, económico y sociocultural del ambiente oceánico y costero y del país frente a los retos futuros. De igual manera, en la búsqueda de una economía que garantice un mayor nivel de bienestar, el país planteó como estrategia el “Aprovechar el Territorio marino-costero en forma eficiente y sostenible” (DNP, 2007), el cual establece las metas y acciones requeridas para proteger y aprovechar los sistemas naturales, sus bienes y servicios como sustento para el desarrollo.

En este sentido, hacia el 2014 el hoy Minambiente llevó a cabo un proceso de revisión de los avances en la PNAOCI como parte del proceso de ingreso a la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico - OCDE; a raíz de esto, se establece la necesidad de que el Departamento Nacional de Planeación (DNP) adelantara la revisión y actualización de esta política. Es así como el Plan de Desarrollo 2014-2018 indica en su objetivo 2 que: “se avanzará en la formulación y adopción de una política integrada para la gestión de las zonas marinas, costeras e insulares del país, haciendo énfasis en la protección de su biodiversidad el bienestar de sus pobladores y la defensa de la soberanía nacional”.

Lo anterior va en concordancia con lo establecido en la Ley 1454 de 2011 “Ley orgánica de ordenamiento territorial”, que avanza en la construcción de la Política General de Ordenamiento Territorial PGOT, la cual parte de una perspectiva multiescalar, intersectorial e interinstitucional, dirigida hacia el logro de la armonía entre las actividades humanas con respecto a los sistemas espaciales integrales que estructuran el territorio, como los ecosistemas, las macroregiones, las redes de infraestructuras estructurantes, el sistema de ciudades, los grandes equipamientos y espacios de interés estratégico o usos especiales, como las zonas de frontera, costeras, marítimas, insulares, áreas de conservación y reserva ambiental, territorios indígenas, entre otros (DNP, 2013).

Con la Ley 1450, que se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, en su artículo 207 párrafo 3, anota que los planes de manejo de las UAC los deberán realizar las CAR y CDS; así, el numeral 10 del artículo 17 del Decreto 3570 de 2011 modificó la parte final del párrafo 3 del artículo 207 de la Ley 1450 de 2011, respecto a que la Dirección de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos - DAMCRA del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible debe adoptarse por las corporaciones autónomas. Este mandato se reglamenta posteriormente mediante el Decreto 1120 del 2013, “Por el cual se reglamentan las Unidades Ambientales Costeras – UAC- y las comisiones conjuntas, se dictan reglas de procedimiento y criterios para reglamentar la restricción de ciertas actividades en pastos marinos, y se dictan otras disposiciones”.

Este es recogido posteriormente por el Decreto Único reglamentario del sector ambiente (Minambiente, 2015), el cual da las directrices generales para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo Integrado de las Unidades Ambientales Costeras – POMIUAC, los cuales deben ser desarrollados siguiendo las siguientes fases:

1. Preparación o aprestamiento
2. Caracterización y diagnóstico
3. Prospectiva y zonificación ambiental
4. Formulación y adopción
5. Implementación o ejecución
6. Seguimiento y evaluación

La Dirección de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos (DAMCRA) de Minambiente construyó la Guía Técnica para la Ordenación y Manejo Integrado de la Zona Costera, cuyo objetivo es precisar el procedimiento para la elaboración de los POMIUAC, de acuerdo con el encargo definido por el Decreto 1120 del 2013, compilado en el Decreto 1076 de 2015 “por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible”.

Esta guía se generó a partir de los manuales elaborados para el MIZC, con un equipo técnico de MINAMBIENTE, INVEMAR, IDEAM y ASOCAR, que trabajó en la elaboración del instrumento para reglamentar la metodología teniendo en cuenta que a partir de la publicación del Decreto 1120 del 2013 del Minambiente (recogido en el Decreto 1076 del 2015 (Minambiente, 2015), se le otorga a las CARs y CDS competencia y jurisdicción en las zonas marinas y costeras. Esta guía fue adoptada por el Minambiente mediante la Resolución 0768 de 2017 del Minambiente.

Hasta el momento la aprobación por parte de MADS de los POMIUAC no se ha dado, a pesar que la mayoría de ellos ya se encuentran formulados y algunas CAR ya los han adoptado y estos ejercicios de formulación conjunta han impulsado el trabajo entre las regiones y la inclusión de las temáticas marino costeras en las CAR costeras, por ejemplo, creación de oficinas que trabajan exclusivamente estos temas.

Por otro lado, en los temas de ordenamiento de la zona marino costera y las diferentes actividades que allí se desarrollan, surge cierta atención y/o preocupación por los recursos marinos que se ven afectados por algunos aspectos como actividades económicas, concesiones por parte del sector

privado, licencias gubernamentales y algunas prácticas que generan presiones sobre la base natural, influyendo negativamente en los recursos que soporta y los servicios que presta. Para aportar a los procesos de manejo y ordenamiento marino costero, es importante fortalecer los aspectos técnicos y metodológicos que contribuyan a la gestión de manera integral de estas áreas, en especial la sub zona marina, considerando los aspectos políticos, usos, conflictos y demás orientaciones que existan en el país con respecto al desarrollo de actividades en el mar.

Finalmente, es importante mencionar, que como instrumento de política pública en materia ambiental para mares y costas, la PNAOCI tiene relación con otros instrumentos que se han derivado en materia de gestión marina y costera y ordenamiento territorial, los cuales fueron promovidos posterior a la política ambiental, como es el caso de la Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros – PNOEC emitida por la Comisión Colombiana del Océano (2007 y actualización 2016), la política general de ordenamiento territorial (PGOT) liderada por el Departamento Nacional de Planeación – DNP, y el Conpes 3990 también emitido por el DNP, y que tuvo como base un proceso de evaluación de las políticas sobre mares y costas (PNAOCI y PNOEC)

A nivel global, la Planificación Espacial Marina – PEM, se ha visto como un proceso que contribuye a dar estas orientaciones; y la UNESCO ha sido a través de sus guías un referente al respecto, buscando llegar con estas a los responsables de la planificación y gestión con el objetivo de responder preguntas sobre cómo convertir la PEM en un programa operativo de manera que aporte resultados positivos. En este contexto, la PEM es definida como un proceso público para “analizar y asignar la distribución espacial y temporal de las actividades humanas en zonas marinas para alcanzar objetivos ecológicos, económicos y sociales que normalmente se especifican por un proceso político” (Ehler y Douvere, 2009).

INVEMAR desde el año 2015, ha adelantado ejercicios para generar insumos desde el análisis desde la perspectiva de la PEM, que aportan elementos metodológicos y técnicos a los procesos MIZC en desarrollo, en el marco de la PNAOCI (MMA, 2001). Estos insumos han permitido reforzar los análisis en la porción del medio marino de varias Unidades Ambientales Costeras (UAC), bajo un enfoque que permite analizar y gestionar los conflictos y compatibilidades que se puedan dar en esta área. Los ejercicios han permitido adaptar y proponer la metodología PEM para Colombia, haciendo su aplicación en casos prácticos e insumos en:

#### Caribe Colombiano

- UAC Vertiente Norte Sierra Nevada de Santa Marta y UAC Río Magdalena departamento del Magdalena (Invemar, 2016)
- UAC Río Magdalena en el sector del departamento de Bolívar (Invemar, 2019)
- UAC Darién departamentos de Antioquia y Chocó sobre el litoral Caribe (Invemar, 2021)
- UAC Vertiente Norte Sierra Nevada de Santa Marta departamento de La Guajira y UAC Alta Guajira (Invemar, 2023)

#### Pacífico Colombiano

- UAC Málaga Buenaventura (Invemar 2015).
- UAC de la Llanura Aluvial del Sur para el sector del departamento del Cauca (Invemar, 2017).
- UAC de la Llanura Aluvial del Sur para el sector departamento de Nariño (Invemar, 2018).
- UAC Pacífico Norte Chocoano y a la UAC Baudó San Juan, en la porción marina en el departamento del Chocó, sobre litoral del Pacífico (Invemar, 2020)

## Estrategia de capacitaciones

El desarrollo y avances en los temas de MIZC-PEM, cambio climático, análisis de datos orientados a las zonas costeras, ha propiciado la consolidación de una estrategia de capacitación, con la cual desde 1999 se han desarrollado diversos cursos sobre el tema de MIZC y se ha ampliado en los últimos años a temas como Tecnologías de Información (TI), Planificación Espacial Marina (PEM), Áreas Marinas Protegidas (AMP) y Cambio Climático (CC).

El Instituto pasó desde el año 2015 a ser Centro Regional de Entrenamiento para Latinoamérica RTC LAC (por su sigla en inglés), el cual hace parte de la estrategia Academia Global para Enseñanza del Océano (OTGA por su sigla en inglés) de IODE-COI-UNESCO. Cada curso se revisó y evalúa en sus contenidos y metodologías, lo que dejó experiencias particulares y conocimiento a profesionales, investigadores y tomadores de decisiones beneficiados de capacitaciones tanto del nivel nacional como de Latinoamérica.

La Academia Global OceanTeacher hace parte de la Oficina de Proyectos de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental – COI de la UNESCO, como parte de IODE. OceanTeacher se ha desarrollado como un sistema de formación para los gestores de datos oceánicos y de información marina, así como para los investigadores marinos que deseen adquirir conocimientos en los datos y/o gestión de la información. Además, OceanTeacher se está utilizando para la formación en otras disciplinas relacionadas y proporciona un programa de cursos de formación relacionados con programas de la COI, que contribuye a la gestión sostenible de los océanos y las zonas costeras de todo el mundo, y relevante para los Estados miembros en las regiones, a través de los Centros de Entrenamiento Regional.

### 23. Indicador de número de personas capacitadas: fortalecimiento de capacidades en manejo integrado costero

#### Definición e importancia del indicador

En el ámbito nacional, sub-nacional y local, el entrenamiento en temas MIZC, AMP, Cambio Climático y tecnologías de la información (TI) enfocado a los ambientes marinos y costeros, de profesionales y funcionarios públicos es una prioridad, para el entendimiento e incorporación de los temas marinos y costeros en la planeación, ordenamiento territorial, gestión de áreas protegidas y la academia. Estos cursos se realizan con el objetivo de fortalecer la capacidad técnica de las instituciones del SINA, incluidos los entes territoriales con injerencia costera y desde el 2015 a investigadores y tomadores de decisiones en las zonas marinas y costeras de toda Latinoamérica, para consolidar un grupo interdisciplinario de profesionales que contribuyan al MIZC y a las AMP, mediante el entrenamiento en conceptos, contexto internacional y nacional del tema, métodos y aplicación mediante casos de estudio, que contribuyan a la toma de decisiones para el manejo de las zonas marinas y costeras.

Este indicador comprende dos elementos que se consideran importantes en el proceso de planificación y manejo de las zonas costeras. Se relaciona con el fortalecimiento de capacidades a los entes locales, regionales y/o nacionales, entendido como un instrumento para la planificación en las zonas marinas y costeras.

Este parámetro muestra el número de personas capacitadas en cursos de capacitación no formal en los temas de MIZC, Áreas Marinas Protegidas (AMP), Cambio climático (CC) y tecnologías de la información (TI). Su unidad de medida es número de personas por año (Figura 67)

#### Fuente de los datos e información

INVEMAR, Coordinación de Investigación e Información para la Gestión Marina y Costera GEZ.  
Centro regional de entrenamiento para Latinoamérica OTGA.

23. Indicador de número de personas capacitadas: fortalecimiento de capacidades en manejo integrado costero

Periodo reportado

Los resultados que aquí se presenta son de los cursos impartidos entre 1999 y 2023.

Reporte o cálculo del indicador

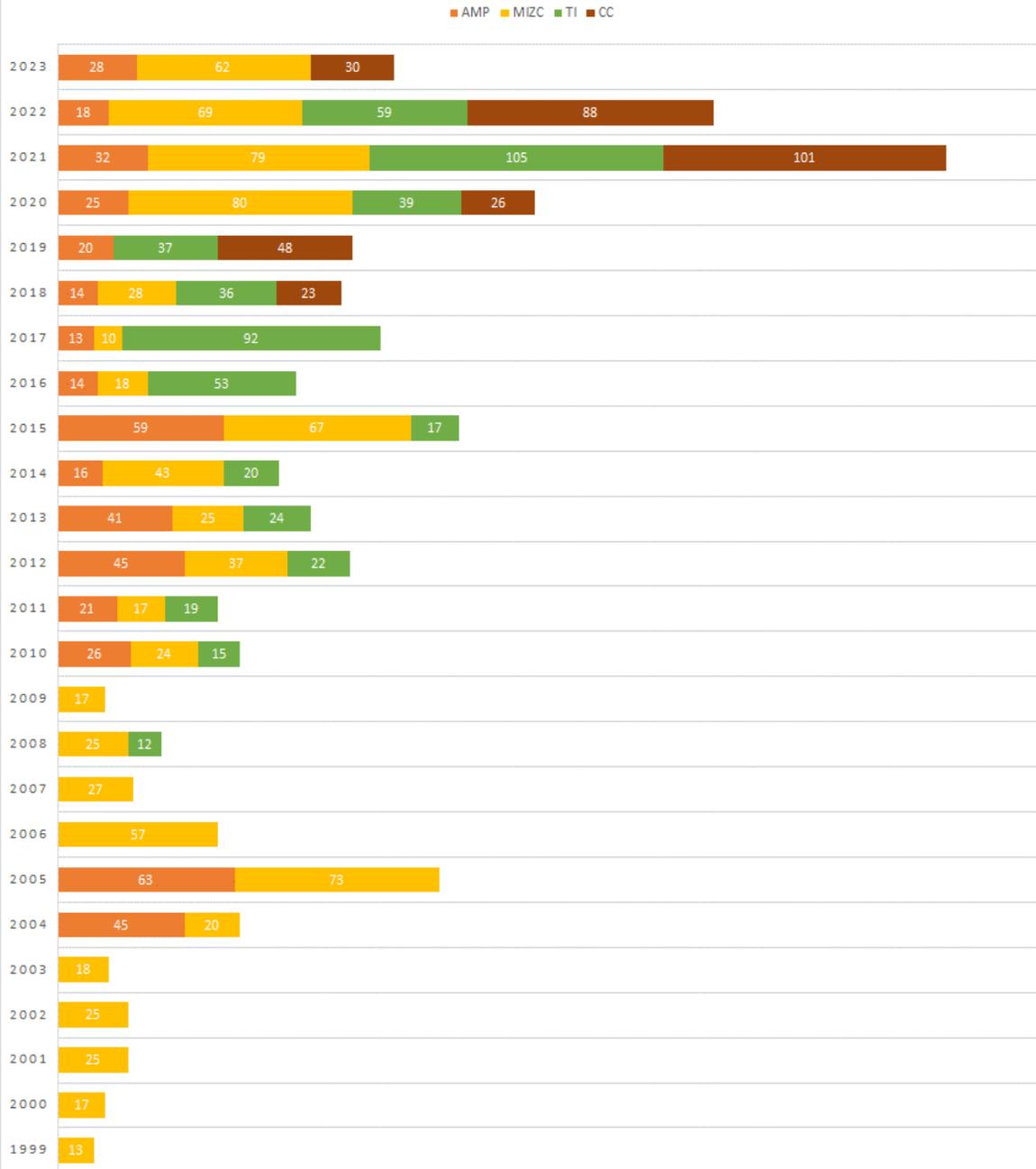


Figura 67. Número de capacitados por año. Fuente: elaboración propia mediante base de datos de capacitaciones anuales.

Interpretación de los resultados

**23. Indicador de número de personas capacitadas: fortalecimiento de capacidades en manejo integrado costero**

En el año 2023 se ofertaron 4 cursos totalmente virtuales con 120 capacitados. Se siguen teniendo valores altos en comparación con los últimos 5 años. Se incluyó el virtual “Curso todos por una causa: el océano que queremos”, impartido por la Comisión Colombiana del Océano. En total se han formado 2222 personas, entre estudiantes, comunidad local, representantes de Corporaciones Autónomas Regionales, Parques Nacionales Naturales de Colombia, MADS e investigadores de ciencias del mar procedentes de 14 países de Latinoamérica, el Caribe, Europa y África. Durante el 2023 El 62% de los capacitados son mujeres y el 38% hombres.

**Limitaciones del indicador**

Ninguna.

**Recomendaciones y alternativas de manejo**

Se espera ofertar en la estrategia de capacitaciones Ocean Teacher, más temáticas de interés para el conocimiento de las zonas marinas, costeras y oceánicas.

## SUBSISTEMA DE ÁREAS COSTERAS Y MARINAS PROTEGIDAS

El Subsistema de áreas marinas protegidas (SAMP) como parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia (SINAP), es el conjunto de áreas protegidas marinas y/o costeras con actores, mecanismos de coordinación, instrumentos de gestión que articulados con otras estrategias de conservación *in situ*, contribuyen a lograr los objetivos comunes de conservación en el territorio marino y costero (Alonso *et al.*, 2015). Actualmente, el SAMP lo integran 38 áreas marinas protegidas (AMP) de orden nacional y regional, el 63% (24 AMP) se encuentran ubicadas en el Caribe y 37% (14 AMP) en el Pacífico colombiano (Figura 68). Al finalizar 2022, se avanzó en la declaratoria de dos nuevas AMP y la ampliación de unas ya existentes, con lo cual se pasó de tener 12.454.011 ha de zonas marinas bajo protección (13,41 %) a 34.885.749 ha, que equivalen al 37,55 % del territorio marino del país, superando la meta nacional de proteger el 30% de las áreas marinas del país.

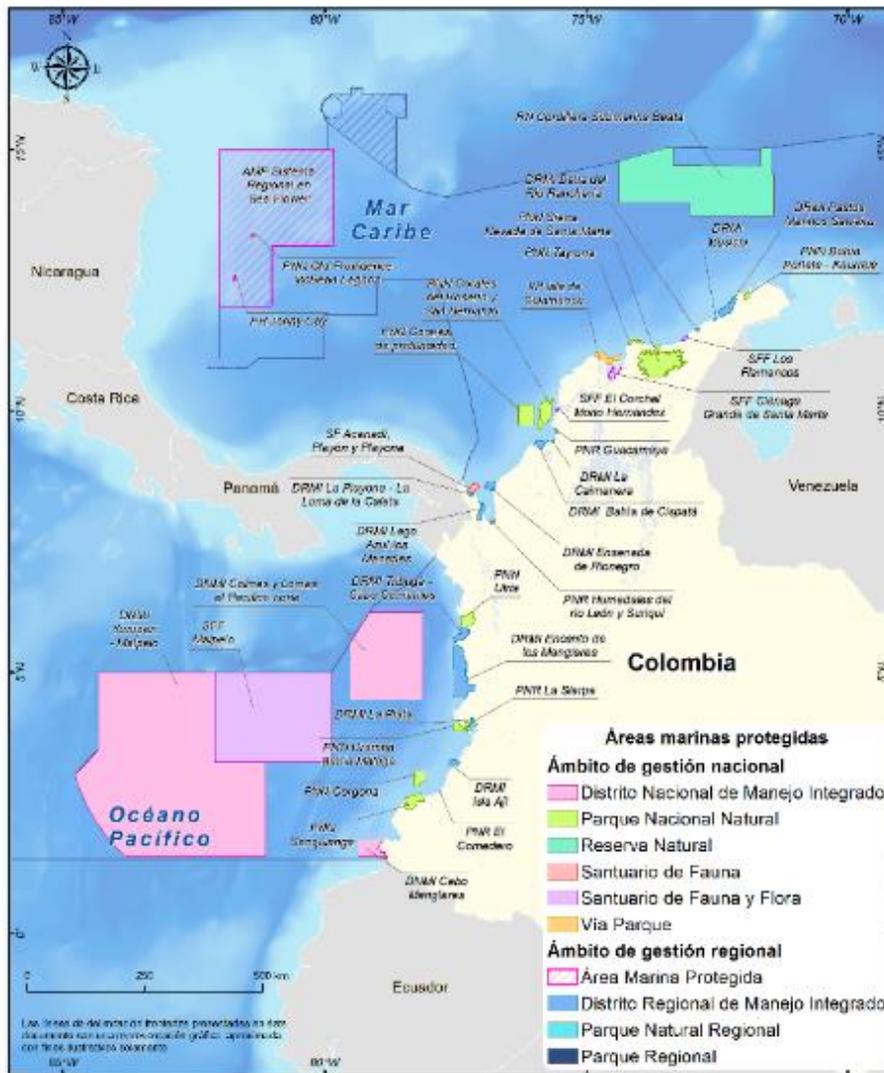


Figura 68. Áreas marinas Protegidas que integran el SAMP de Colombia. Fuente: elaboración con base en datos del RUNAP (2022).

Antes del 1995, los procesos de declaratorias especialmente marinas se dieron un poco más lento, entre los años 1964-1987 se crearon 9 AMP de competencia de Parques Nacionales Naturales y después de 1995 hasta el 2010 se declararon 12 AMP, de las cuales el 50% son de carácter nacional. Con la puesta en marcha del SAMP los esfuerzos en las declaratorias de nuevas AMP se dieron principalmente hacia áreas regionales, entre 2011-2022 se declararon 17 AMP (10 en el Caribe y 7 en el Pacífico), de las cuales el 59% (10 AMP) son de competencia de las Corporaciones Autónomas Regionales (Tabla 28 y Figura 69). Es de resaltar, que para el 2022 se declararon dos nuevas AMP 100% marinas, el Distrito Nacional de Manejo Integrado Colinas y Lomas Submarinas de la Cuenca Pacífico Norte y la Reserva Natural Cordillera Beata en el Caribe, que permitieron aumentar la representatividad de las colinas, lomas, fosas y montes submarinas, las cuales estaban subrepresentadas bajo figuras de protección (Figura 69) (RUNAP, 2021). En el caso de la Reserva Natural Cordillera Beata, se logró el establecimiento de un acuerdo entre Colombia y República Dominicana que fortalecerá la conservación de este corredor marino y con el que se adelantarán acciones conjuntas en materia de investigación científica, monitoreo, control y vigilancia.

Lo anterior, evidencia que a través del SAMP se ha logrado poner los temas marinos y costeros en las prioridades de las políticas de Estado, contribuyendo claramente a responder a las prioridades plasmadas en la política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia (PNAOCI), a los Planes Nacionales de Desarrollo de los últimos 13 años y a las metas establecidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

**Tabla 28. Listado de áreas marinas protegidas del SAMP. Fuente: SSD-SAMP (2022).**

REGIÓN	No.	ÁREA MARINA PROTEGIDA	ORDEN	AUTORIDAD RESPONSABLE	TIPO
Caribe	1	SFF Los Flamencos	Nacional	PNN	Costero
	2	PNN Sierra Nevada de Santa Marta	Nacional	PNN	Costero
	3	PNN Tayrona	Nacional	PNN	Marino Costero
	4	SFF Ciénaga Grande de Santa Marta	Nacional	PNN	Costero
	5	VP Isla de Salamanca	Nacional	PNN	Marino Costero
	6	PNN Corales del Rosario y San Bernardo	Nacional	PNN	Submarino
	7	SFF Corchal Mono Hernández	Nacional	PNN	Marino Costero
	8	PNN Corales de Profundidad	Nacional	PNN	Submarino
	9	SF Acandí, Playón y Playona	Nacional	PNN	Marino Costero
	10	PNN Bahía Portete – Kaurrele	Nacional	PNN	Marino Costero
	11	DMI Bahía Cispatá, La Balsa, Tinajones y sectores vecinos al delta río Sinú	Regional	CVS	Costero
	12	PNR Boca de Guacamayas	Regional	Carsucre	Costero
	13	DRMI Ciénaga de la Caimanera	Regional	Carsucre	Costero
	14	DRMI Musichi	Regional	Corpoguajira	Costero
	15	DRMI Ensenada Río Negro, los bajos aledaños, la Ciénaga de la Marimonda y Salado	Regional	Corpourabá	Costero
	16	PNR Humedales del Río León y Suriquí	Regional	Corpourabá	Costero
	17	DRMI La Playona - Loma de la Caleta	Regional	Codechocó	Costero
	18	DRMI Lago Azul-los Manatíes	Regional	Codechocó	Costero
	19	DRMI Delta del Río Ranchería	Regional	Corpoguajira	Marino

REGIÓN	No.	ÁREA MARINA PROTEGIDA	ORDEN	AUTORIDAD RESPONSABLE	TIPO
	20	DRMI Pastos Marinos Sawäirü	Regional	Corpoguajira	Marino Costero
	21	Reserva Natural Cordillera Beata	Nacional	PNN	Oceánica
Caribe Insular	22	PNN Old Providence McBean Lagoon	Nacional	PNN	Marino Costero
	23	DMI área Marina Protegida de la Reserva de Biósfera Seaflower	Nacional	MADS	Marino
	24	PNR Jhonny Cay	Regional	Coralina	Marino Costero
Pacífico	25	DNMI Cabo Manglares Bajo Mira y Frontera	Nacional	PNN	Marino Costero
	26	PNN Uramba Bahía Málaga	Nacional	PNN	Marino Costero
	27	PNN Sanquianga	Nacional	PNN	Costero
	28	PNN Utría	Nacional	PNN	Marino Costero
	29	PNR La Sierpe	Regional	CVC	Costero
	30	DRMI La Plata	Regional	CVC	Costero
	31	DRMI Golfo de Tribugá - Cabo Corrientes	Regional	Codechocó	Marino Costero
	32	DRMI Encanto de los manglares del Bajo Baudó	Regional	Codechocó	Marino Costero
	33	PNR El Comedero	Regional	CRC	Marino Costero
	34	DRMI isla Ají	Regional	CVC	Marino costero
	35	Distrito Nacional de Manejo Integrado Colinas y Lomas Submarinas de la Cuenca Pacífico Norte	Nacional	PNN	Marino
Pacífico Insular	36	DMI Integrado Yuruparí - Malpelo	Nacional	PNN	Marino
	37	SFF Malpelo	Nacional	PNN	Marino
	38	PNN Gorgona	Nacional	PNN	Marino

**DMI:** Distrito de Manejo Integrado; **DRMI:** Distrito Regional de Manejo Integrado; **PNN:** Parque Nacional Natural; **PNR:** Parque Nacional Regional; **SF:** Santuario de Fauna; **SFF:** Santuario de Fauna y Flora; **VP:** Vía Parque.

**Nota:** Con relación al informe del estado de los recursos del año 2018, se excluyen del listado para el reporte del 2019, las AMP Nacional Corales del Rosario, San Bernardo e Isla Fuerte (AMP CRSB) y Parque Regional de Manglar Old Point, las cuales inicialmente se habían incluido en el SAMP, debido a la importancia que tenían para la región, aun cuando el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas – RUNAP no las tiene registradas.

Pacífico	Año	Caribe
	1964	PNN Sierra Nevada de Santa Marta
	1969	PNN Tayrona
	1969	VP Isla de Salamanca
	1977	PNN Corales del Rosario y San Bernardo
	1977	SFF Ciénaga Grande de Santa Marta
	1977	SFF Los Flamencos
PNN Sanquianga	1977	
PNN Gorgona	1984	
PNN Utría	1987	
	1995	PNN Old Providence Mc Bean Lagoon
SFF Malpelo	1995	
	2002	SFF El Corchal El Mono Hernández
	2005	DNMI Área Marina Protegida de la Reserva de Biósfera Seaflower
	2006	DRMI Manglar de la Bahía de Cispata y sector aledaño del delta estuarino del río Sinú
	2008	DRMI Ciénaga de la Caimanera
	2008	PNR Sistema manglárico Boca de Guacamaya
DRMI Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de La Plata	2008	
PNR La Sierpe	2008	
	2009	DRMI Ensenada de Rionegro, las Ciénagas de Marimonda y el Salado
	2009	PNR Humedales entre los ríos León y Suriquí
PNN Uramba Bahía Málaga	2010	
	2011	PR Jhonny Cay
	2011	DRMI Musichi
	2012	DRMI de la Playona y la Loma de Caleta
	2013	PNN Corales de Profundidad
	2013	SF Acandi Playon y Playona
	2013	DRMI Lago Azul los Manatíes
	2014	DRMI Delta del Rio Ranchería
	2014	PNN Bahia Portete Kaurrele
DRMI Golfo de Tribuga Cabo Corrientes	2014	
PNR El Comedero	2016	
DNMI Yurupari - Malpelo	2017	
DNMI Cabo Manglares Bajo Mira y Frontera	2017	
DRMI Encanto de los manglares del Bajo Baudó	2017	
	2018	DRMI Pastos Marinos Sawairu
DRMI Isla Ají	2021	
	2022	Reserva Natural Cordillera Beata
DNMI Colinas y Lomas Submarinas de la Cuenca Pacífico Norte	2022	

Figura 69. Línea de tiempo de la declaratoria de las AMP que integran el SAMP. Fuente: elaboración con base en datos del RUNAP (2022).

El establecimiento del SAMP, ha permitido fortalecer las acciones de conservación de la biodiversidad marina y costera del país, entre algunos de los logros alcanzados se encuentran:

1. Entre 2011 y 2022 se incrementó en un 45% el número de AMP declaradas (17 nuevas AMP) y hectáreas de ecosistemas marinos bajo protección, contribuyendo al cumplimiento de compromisos y metas internacionales.

2. De las 17 AMP declaradas entre 2011 y 2022, 10 son del ámbito de gestión regional, demostrando la voluntad institucional por parte de las Corporaciones Autónomas Regionales para la conservación de los ecosistemas marinos y costeros y de sus servicios ecosistémicos.
3. Desde el nivel político, en el año 2016 el SAMP fue reconocido por parte del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) como la estrategia para la armonización y gestión de las AMP y se consideró estratégico la articulación entre los Sistemas regionales de áreas protegidas (SIRAP) del Caribe y el Pacífico, como las instancias que coordinan y promueven la ejecución de acciones de conservación. A raíz de lo anterior, estas instancias incluyeron al SAMP como parte de sus estructuras de gestión y articularon el Plan de Acción del SAMP 2016-2023 (Cardique et al. 2016) a sus instrumentos de planeación y gestión.
4. En el marco de la implementación del Plan de acción y como estrategia de sostenibilidad financiera para AMP del Caribe se ha venido avanzando en el desarrollo de iniciativas de Carbono azul que busca reducir la degradación y deforestación del ecosistema de manglar y su implementación redundará en la reducción de emisiones de gases efecto invernadero, la salud de los ecosistemas y del bienestar socioeconómico de las comunidades locales.
5. También, se ha venido avanzando en el fortalecimiento de la capacidad de gestión individual mediante la capacitación a miembros del Sistema Nacional Ambiental en temas relacionados con cambio climático (carbono azul y adaptación basada en ecosistemas), gestión de áreas marinas protegidas, sistemas de información geográfica y manejo integrado de zonas costeras.

**24. Indicador de proporción de áreas marinas protegidas con plan de manejo vs total de áreas marinas protegidas**

**Definición e importancia del indicador**

El plan de manejo es el instrumento que orienta las acciones hacia el logro de los objetivos de conservación de cada área, con visión a corto, mediano y largo plazo, convirtiéndose en una herramienta esencial para utilizar efectivamente los recursos financieros, físicos y humanos disponibles.

El indicador de porcentaje de áreas marinas protegidas con plan de manejo vs el total de las áreas marinas protegidas, da una idea del grado de planeación de las acciones hacia el logro de los objetivos de conservación de cada área, y en su conjunto de los objetivos del SAMP.

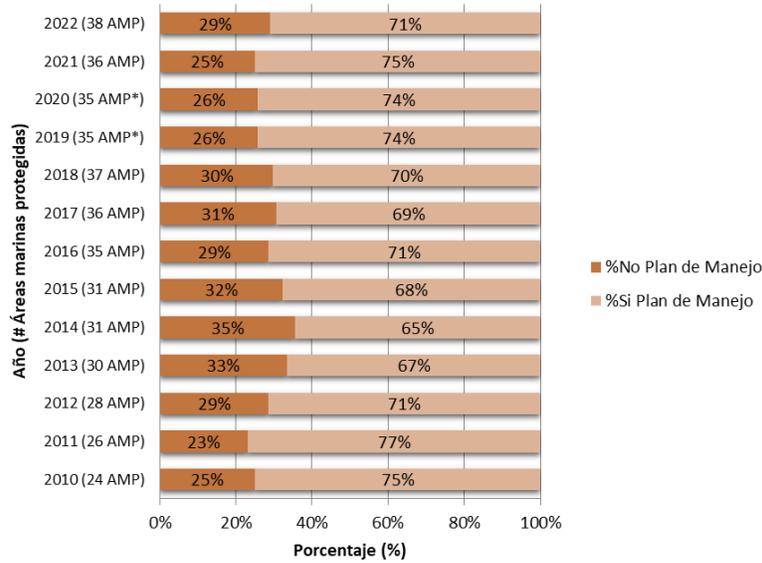
**Fuente de los datos e información**

Consulta a las entidades responsables de la generación del plan de manejo de cada una de las áreas marinas protegidas que conforman el SAMP: Sistema de Parques Nacionales Naturales (áreas nacionales) y Corporaciones Autónomas Regionales (áreas regionales).

**Periodo reportado**

Los resultados que aquí se presentan son de los avances desde diciembre de 2010 hasta diciembre de 2021.

**Reporte o cálculo del indicador**



**Figura 70. Número de áreas marinas protegidas con/sin plan de manejo. Fuente: elaboración propia con base en consultas a las entidades competentes.**

\* Nota: Con relación al informe del estado de los recursos del año 2018, se excluyen del listado para el reporte del 2019 y 2020, las AMP Nacional Corales del Rosario, San Bernardo e Isla Fuerte (AMP CRSB) y Parque Regional de Manglar Old Point, las cuales inicialmente se habían incluido en el SAMP, debido a la importancia que tenían para la región, aun cuando el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas – RUNAP no las tiene registradas.

**Interpretación de los resultados**

Entre el 2010 y el 2022 el número de AMP se incrementó a 38, debido a que en junio de 2022 se logró la declaratoria del Distrito Nacional de Manejo Integrado Colinas y Lomas Submarinas de la Cuenca Pacífico Norte y la Reserva Natural Cordillera Beata en el Caribe. De este total, el 71% cuentan con plan de manejo frente a un 29% que no lo tiene. Es de resaltar que entre 2019 y 2022 se ha venido avanzando también en la ruta de declaratoria para dos nuevas AMP de carácter regional en Sucre y La Guajira, las cuales se encuentran en la fase de consulta con actores locales y aprestamiento, respectivamente.

**Limitaciones del indicador**

El plan de manejo es un instrumento flexible y dinámico que debe ser actualizado de acuerdo a las necesidades de cada área y al proceso de seguimiento del mismo. El presente indicador tiene en cuenta la existencia de los planes de manejo incluyendo que este se encuentre vigente o en proceso de actualización. No se referencian los planes que están en proceso de elaboración o aprobación.

**Recomendaciones y alternativas de manejo**

No aplican

## CAPÍTULO V

# ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y VACÍOS DE INFORMACIÓN



Medición de variables in situ en la zona costera del departamento el Atlántico, para el nodo REDCAM.

Foto: Juan Saldarriaga

## ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y VACÍOS DE INFORMACIÓN SOBRE LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

### Microalgas potencialmente nocivas

Las microalgas, son fundamentales en los ecosistemas marinos como productores primarios y sumidero de CO<sub>2</sub> del océano (Legendre et al., 2002; Field et al., 1998; Longhurst et al., 1995); sin embargo, bajo ciertas condiciones ambientales pueden crecer de manera descontrolada causando impactos negativos en los organismos marinos y en el hombre, estos eventos son conocidos como floraciones algales nocivas (FAN) (Sar et al., 2002). Las FAN pueden generar impactos como bajas de oxígeno en la columna de agua, daños mecánicos en branquias de peces y producción de sustancias mucilaginosas que pueden causar asfixia en diferentes organismos; además algunas microalgas pueden generar toxinas, afectando también al hombre, a través de la red trófica o por contacto directo con el agua que contiene estas toxinas (Hallegraeff et al., 2004; Sar et al., 2002).

Aunque las microalgas abarcan diferentes tipos de organismos y en general conforman el fitoplancton, algunas también están asociadas al fondo marino (bentónicas), como algunos dinoflagelados que además pueden también producir toxinas, ocasionando intoxicaciones por el consumo de peces contaminados con estas toxinas, como es el caso de la ciguatera.

A nivel mundial, se ha observado un incremento en la ocurrencia de las FAN (Hallegraeff et al., 2004) y para el caso de Colombia se han asociado principalmente con mortandad de organismos e intoxicaciones en humanos (INVEMAR, 2020c), por lo cual es una necesidad de abordar este problema de una manera integral por las entidades de control, de vigilancia ambiental, de investigación y de salud pública.

El INVEMAR, desde el año 2010, viene realizando el monitoreo de microalgas, potencialmente nocivas. En el presente informe, se presentan los resultados del comportamiento en la densidad y composición de microalgas fitoplanctónicas, en el período octubre 2022 y septiembre 2023, en cinco estaciones del departamento del Magdalena (Caribe colombiano), bahía de Chengue (BCH) y laguna de Chengue (LCH) en el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT), la bahía de Santa Marta (Boya-2), y la boca de la Barra (LBA) y la ciénaga La Luna (CLU), en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM); y dinoflagelados bentónicos en BCH y LCH. Los resultados se compararon con la lista taxonómica de microalgas nocivas de la IOC-UNESCO (2021).

### Microalgas fitoplanctónicas

En la CGSM las densidades fitoplanctónicas para LBA variaron entre 70.778.689 y 310.853.818 cél. L<sup>-1</sup>; y en CLU entre 102.470.592 y 1.230.586.287 cél. L<sup>-1</sup> (Figura 71). Las densidades observadas se ubicaron dentro del rango de los monitoreos realizados entre el 2016 y 2020 (INVEMAR, 2020a).

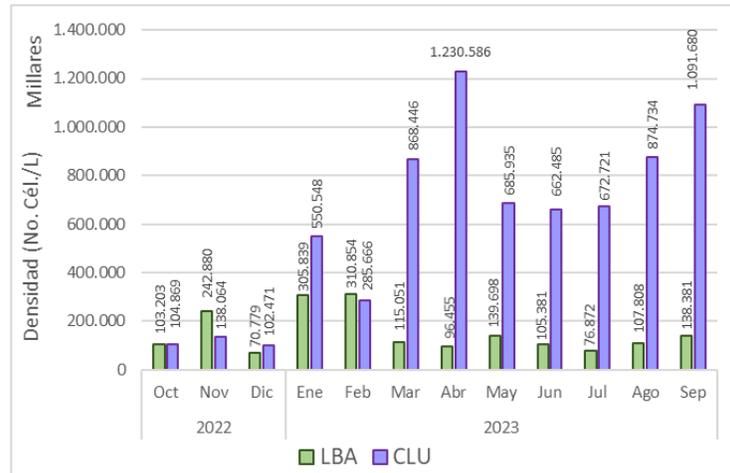


Figura 71. Densidades fitoplanctónicas (cél. L<sup>-1</sup>) medidas mensualmente entre octubre de 2022 y septiembre de 2023, en las estaciones de Boca de la Barra-LBA y Ciénaga la Luna- CLU en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM).

En LBA las cianobacterias contribuyeron en más del 90 % de la abundancia relativa, representadas principalmente por las cianobacterias esféricas del género *Synechocystis* (Figura 71) . En CLU las cianobacterias también predominaron aportando en más del 60 % de la abundancia relativa (Figura 72); en febrero, mayo, julio, agosto y septiembre de 2023 además del género *Synechocystis*, predominó *Planktolyngbya*. El predominio en abundancias de las cianobacterias respecto a los demás grupos del fitoplancton en la CGSM se ha descrito desde la década de los 80 (Kücklick, 1987), y ha sido un comportamiento generalizado que se viene observando reiterativamente durante el monitoreo. En ocasiones, las elevadas densidades de cianobacterias se han asociado con eventos de mortandad de peces por anoxia en la CGSM (INVEMAR, 2016).

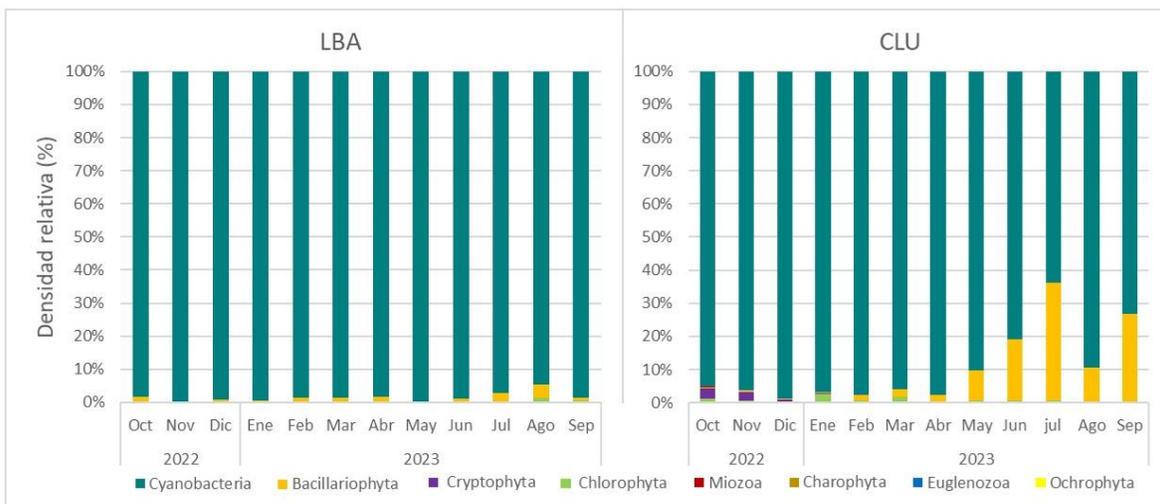


Figura 72. Abundancias relativas (%), medidas mensualmente en BLA y CLU (CGSM) entre octubre de 2022 y septiembre de 2023.

En la estación LBA se registró un total de 12 géneros con especies potencialmente nocivas, de los cuales nueve tienen capacidad toxigénica (Tabla 29), se destacaron *Nitzschia* y *Synechocystis* por estar presentes en todos los de meses observados y en general registrar las mayores abundancias.

**Tabla 29. Presencia y abundancia (cél. L<sup>-1</sup>) de géneros con especies potencialmente nocivas en la Boca de la Barra (LBA) durante el periodo octubre 2022 a septiembre 2023).**  
\*Géneros con especies toxigénicas.

Genero	2022			2023								
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
<i>Anabaena</i> *				5000	1000				2020	28000	4000	200000
<i>Anabaenopsis</i> *	55037	33607			47000			23317		4967947	3335417	2000591
<i>Chaetoceros</i>	56566	2000	1500		3000	8000	2000	2020	239731	285662		44000
<i>Cuspidothrix</i> *					12000							
<i>Microcystis</i> *				31000	5000							
<i>Nitzschia</i> *	663137	176929	348257	261177	338073	430493	34626	187883	330442	4000	228530	485060
<i>Oscillatoria</i> *	6734	4000	1000	1000								
<i>Planktothrix</i> *	142761	3000	46000									
<i>Pseudo-nitzschia</i> *	4714					18000	247754	2694	35017			
<i>Raphidiopsis</i> *	55037			32647		35708			293128	142831		304706
<i>Skeletonema</i>	369861	500	17000		3280000	700000	1100000		26263	424000	20000	
<i>Synechocystis</i>	98372032	241533014	69834545	74822727	302616364	109740000	94512919	137971840	99853875	62599373	40487273	84651515

**Tabla 30. Presencia y abundancia (cél. L<sup>-1</sup>) de géneros con especies potencialmente nocivas en la Ciénaga la Luna (CLU) durante el periodo octubre 2021-a septiembre 2022.**

	Oct/2022	Nov/2022	Dic/2022	Ene2022	Feb2022	Mar/2022	Abr/2022	May/2022	Jun/2022	Jul/2022	Ago/2022	Sep/2022
<i>Anabaena</i> *	200	24046	673	40000	508493	792000	4000					
<i>Anabaenopsis</i> *	68559	48091	4714	4000	3084129	2640474	7435218	1540192		40000	1428311	3427947
<i>Chaetoceros</i>					571324	1741179	571324					
<i>Cuspidothrix</i> *				12000	421662	192000						
<i>Cylindrospermum</i> *					24000							20000
<i>Microcystis</i> *				48000	420000	472000	635324	24000			4000	
<i>Nitzschia</i> *	247990	60606	60102	2864622	4158102	16137908	18282382	61115611	122491962	238051853	88555289	291385469
<i>Oscillatoria</i> *	43826	42424	6734	40000	4000							
<i>Planktothrix</i> *	4700	44444										
<i>Raphidiopsis</i> *	137318	144274			289662	870590	29712871	18349021	10055310	8569867	21424667	44563307
<i>Synechocystis</i>	99176791	130825963	99763636	262535885	99763636	609083254	753769697	200981818	300381818	143818182	77720280	78000000

Para CLU, se registraron 11 géneros, nueve con capacidad toxigénica (Tabla 30), sobresaliendo *Synechocystis* y *Nitzschia* por su mayor abundancia y presencia en todas las estaciones. Entre los géneros detectados *Synechocystis* y *Anabaenopsis* se han asociado con mortandades de peces en la CGSM (INVEMAR, 2014a; INVEMAR, 2015b; INVEMAR, 2015c, INVEMAR, 2015d y Mancera y Vidal, 1994;). Se detectó también la cianobacteria del género *Microcystis*, implicada en casos de intoxicación en humanos, en varias partes del mundo (Cronberg y Annodotter, 2006).

En la BCH, la densidad fitoplanctónica, osciló entre 5.758 y 148.471 cél. L<sup>-1</sup> en mayo de 2023 y octubre de 2022, respectivamente; correspondiendo las mayores concentraciones de microalgas con la época de lluvia (octubre 2022 y septiembre 2023) (Figura 73). En Boya 2, las concentraciones fluctuaron entre 57.171 y 199.667 cél. L<sup>-1</sup> (en marzo y julio de 2023, respectivamente; Figura 73), destacándose también septiembre 2022, julio y octubre 2023 cuando se registraron las mayores abundancias (Figura 73), siendo concentraciones que están dentro del rango de los monitoreos para estos sitios.

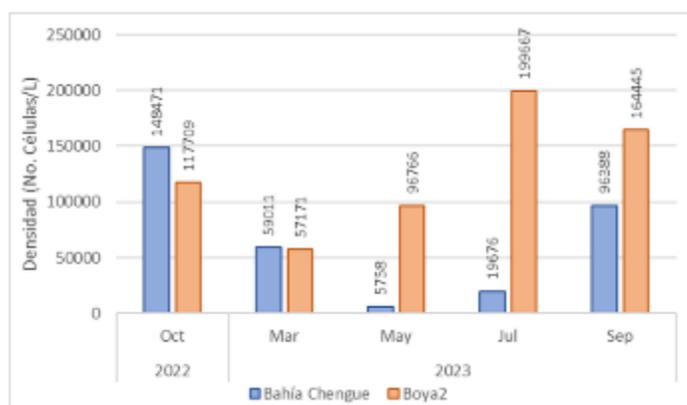


Figura 73. Densidad y abundancia relativa del fitoplancton registrado en la Bahía Chengue (BCH) y Bahía de Santa Marta (Boya-2) en el 2022 y 2023.

La abundancia relativa, en BCH y en Boya-2 mostró que el grupo que más aportó en abundancia (>50%) fueron las diatomeas (Figura 74), de los géneros *Chaetoceros*, *Nitzschia* y *Pseudo-nitzschia*, superada solo en octubre de 2022 en boya-2 por las cianobacterias (Figura 74); los siguientes grupos en aportar en abundancia fueron los dinoflagelados (especialmente en BCH) y las cianobacterias (en especial en la Boya-2; Figura 74).

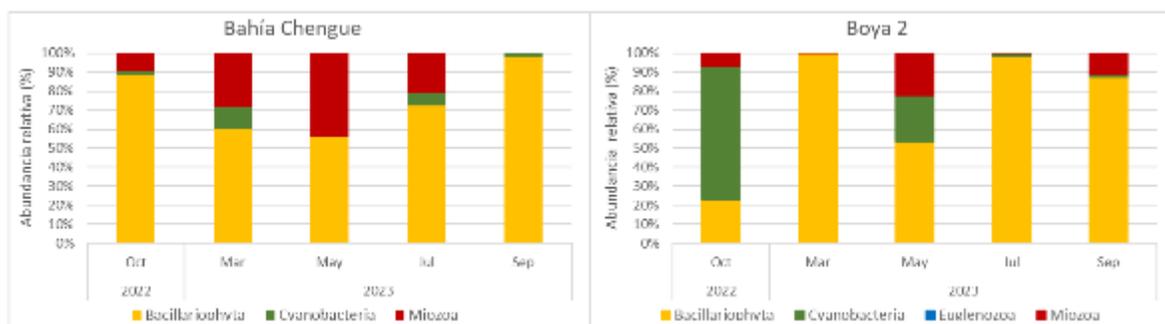


Figura 74. Abundancia relativa (%) del fitoplancton en bahía Chengue y Boya-2 en el 2022-2023.

En la Tabla 31 se presentan los 11 géneros con especies potencialmente nocivas detectados en BCH, de los cuales ocho contienen especies con capacidad toxigénica; destacándose *Chaetoceros*, *Nitzschia* y *Pseudo-nitzschia* por su permanente presencia y mayores abundancias alcanzadas. En Boya-2 se observaron diez géneros potencialmente nocivos, de los cuales siete presentan especies productoras de biotoxinas y entre éstos *Chaetoceros*, *Pseudo-nitzschia* y *Nitzschia* fueron los que presentaron las mayores abundancias y ocurrencias. En ambos sitios se observó la presencia casi permanente de las diatomeas del género *Pseudo-nitzschia*, la cual presenta varias especies productoras de ácido domoico (toxina causante de la intoxicación amnésica por consumo de mariscos) y que puede afectar a organismos marinos y al hombre (Yasumoto et al., 1996).

**Tabla 31. Presencia y abundancia (No. cél. L-1) de géneros con especies potencialmente nocivas en la Bahía Chengue (BCH) y en la Bahía de Santa Marta (Boya-2) en 2022-2023. \*Géneros con especies toxigénicas.**

Genero	Bahía Chengue (BCH)					Bahía de Santa Marta (Boya-2)				
	Oct/22	Mar/23	May/23	Jul/23	Sep/23	Oct/22	Mar/23	May/23	Jul/23	Sep/23
<i>Akashiwo</i> *										40
<i>Anabaena</i> *				280			40		2857	
<i>Chaetoceros</i>	160	100		10220	12402	3247	7920	108712	92216	2784
<i>Gyrodinium</i> *	40						40	200	560	
<i>Leptocylindrus</i>	120		20	3110		80	960		4377	
<i>Microcystis</i> *					952	40	5898			
<i>Nitzschia</i> *	2770	120	3009	5078	8258	4571		160	240	13971
<i>Oscillatoria</i> *					80					
<i>Ostreopsis</i> *			20							
<i>Prorocentrum</i> *		20	20			120			80	80
<i>Pseudo-nitzschia</i> *			4833	53324	23805	38088	29568	54276	34759	2480
<i>Skeletonema</i>				5000	160		640	640	1200	400

### Dinoflagelados bentónicos

En BCH las densidades estuvieron entre 10 y 2.390 células g<sup>-1</sup> de peso húmedo de hojas (p.h) de *Thalassia testudinum*, con los mayores valores en diciembre y noviembre de 2022 y septiembre de 2023 (2.390, 1.755 y 778 células g<sup>-1</sup> p.h., respectivamente) (Figura 75); predominando en abundancia y permanencia *Ostreopsis*, seguido por *Prorocentrum* (Figura 75) En CH, los valores de abundancia variaron entre ausente (en agosto) y las 1.386 cél. g<sup>-1</sup> p.h (en mayo 2023), registrándose los mayores valores, en su orden en mayo, febrero y junio de 2023 (con 1.386, 582, y 260 células g<sup>-1</sup> p.h, respectivamente). *Prorocentrum* se detectó en todas las estaciones, excepto en agosto de 2023; *Ostreopsis* solo se detectó en diciembre 2022 donde también predominó en abundancia, y *Gambierdiscus* sólo se detectó en febrero de 2023.

En la Tabla 32 que fueron registradas para cada uno de los morfotipos de los dinoflagelados bentónicos potencialmente toxigénicos detectados.

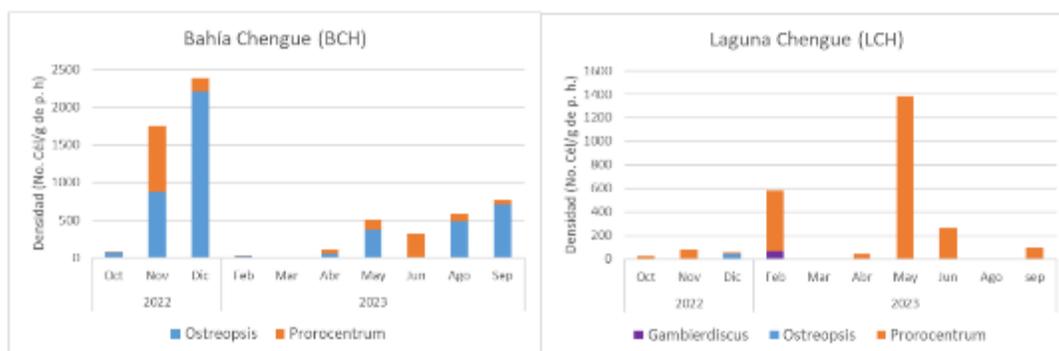


Figura 75. Abundancia general por estación y relativa por género de dinoflagelados bentónicos entre octubre de 2021 y septiembre de 2022-2023 en Bahía Chengue y laguna Chengue.

Tabla 32. Densidades máximas (No. cél. g<sup>-1</sup> p.h) y meses en que se registraron dinoflagelados potencialmente nocivos en el periodo de octubre de 2022 a septiembre de 2023. BCH: Bahía Chengue y LCH: Laguna Chengue.

Morfoespecie	BCH	LCH	Mes
<i>Gambierdiscus sp1</i>		65	Febrero 2023
<i>Ostreopsis cf. ovata</i>	265		Mayo 2023
<i>Ostreopsis spp.</i>	2160	39	Diciembre 2022
<i>Prorocentrum cf. concavum</i>		187	Junio 2023
<i>Prorocentrum cf. hoffmannianum</i>	6		Febrero 2023
<i>Prorocentrum cf. rathymum</i>	114	1227	Mayo 2023
<i>Prorocentrum cf. lima</i>	773		Noviembre 2022
		68	Septiembre 2023

A pesar de las diferencias en composición halladas entre los dos sitios de BCH y LCH, en ambos se destacaron morfotipos potencialmente toxigénicos. Así, varias especies del género *Ostreopsis*, dominante en BCH, son reportadas por producir análogos de la palitoxina (Ciminiello et al., 2008), estando implicados con intoxicaciones en bañistas ya sea por contacto directo o por inhalación de espráis del agua que las contienen (Ciminiello et al., 2014; Carnicer et al., 2015; Del Favero et al., 2012; Tichadou et al., 2010; Ciminiello et al., 2008; Ciminiello et al., 2014; Gallitelli et al., 2005) y también con mortandades de organismos marinos (Accoroni et al, 2016; Carella et al., 2015; Faimali et al, 2012; Ferreira, 2006; Granéli et al, 2002). Mientras que en LCH, para *Prorocentrum cf. concavum* como *Prorocentrum cf. rathymum* y otras especies de *Prorocentrum* se reporta la producción de ácido okadaico y dinophysitoxinas causantes de intoxicaciones diarreicas por consumo de mariscos (Moreira-González et al., 2019; Rodríguez et al., 2018; Zhang et al., 2015; Heredia-Tapia et al., 2002; Hu et al., 1993), así como de otro tipos de toxinas (An et al, 2010; Caillaud et al., 2010; Pearce et al., 2005; Tindall et al., 1989; Nakajima et al., 1981, Arteaga-Sogamoso., et al., 2022).

Solo se detectó *Gambierdiscus spp.* en Laguna Chenque, del cual se ha reportado *G. caribaeus* para el área (Arbeláez et al., 2017 y Arteaga-Sogamoso et al, 2021), registrado como productor de ciguatoxinas y maitoxinas (Kibler et al., 2012; Litaker et al., 2009), implicadas con la ocurrencia de ciguatera, de la que se han reportado varios casos sospechosos en Colombia (Celis y Mancera-Pineda, 2015; Carreño y Mera, 2008; Gaitán, 2007; Álvarez, 1997; Martínez, 1977).

## Conclusiones y recomendaciones

En las estaciones de la bahía de Santa Marta y Bahía Chengue, las diatomeas fueron el grupo predominante en términos de abundancia relativa y densidad (típicos de ambientes marinos y costeros), mientras que para la boca de Barra y ciénaga La Luna (CGSM) lo fueron las cianobacterias (habituales en ambientes estuarinos). Evidenciándose en los cinco sitios la presencia de géneros con especies potencialmente toxigénicas.

En bahía Chengue como en laguna Chengue se evidenció la presencia casi permanente de dinoflagelados bentónicos potencialmente toxigénicos. Aunque no se observaron abundancias irregularmente elevadas en los sitios de muestreo, la presencia permanente de organismos potencialmente toxigénicos en el área, representa un riesgo ambiental y de salud pública, por lo que se recomienda seguir con los monitoreos que se vienen adelantando y en lo posible ampliarlos a otras zonas del país. Así mismo, es necesario identificar las biotoxinas asociadas y utilizar estos resultados para promover la gestión del riesgo por parte de las autoridades y actores competentes.

## Contaminación por basura marina plástica

Desde el año 2017, el INVEMAR con apoyo de MinAmbiente, realizó el primer diagnóstico nacional sobre la contaminación por microplásticos en zonas costeras, lo que permitió generar los primeros registros de abundancia por contaminación plástica asociada a la macrobasura y microplásticos (partículas de plástico entre 1 y 5mm), evidenciando que representan uno de los factores de degradación ambiental, ocasionada principalmente por el inadecuado tratamiento y manejo de residuos líquidos y sólidos provenientes de actividades antrópicas, domésticas y socioeconómicas, que se desarrollan tanto en las zonas costeras como al interior del país.

A diferencia de la región Pacífica, en el Caribe hay mayor industrialización y un crecimiento poblacional más rápido, lo que ha generado marcadas diferencias en términos de densidad poblacional y desarrollo socioeconómico. Además, la dinámica costera difiere notablemente entre ambas regiones, en el Pacífico se presentan macromareas con rangos mareales superiores a los 4 m, mientras que en el Caribe ocurren micromareas con rangos mareales inferiores a los 2 m ([Alvarez et al., 2018](#)). Según su frecuencia, en el Pacífico se observan mareas semidiurnas (dos pleamares y dos bajamares en un día), mientras que el Caribe presenta mareas mixtas, donde se evidencia una desigualdad diurna notoria en la altura de las pleamares y bajamares entre los ciclos de marea sucesivos ([IDEAM, 2012](#)). Por otro lado, es común encontrar comunidades establecidas en las riberas de los ríos en Colombia, donde el saneamiento básico es deficiente o inexistente, lo que conlleva a un tratamiento inadecuado de las aguas residuales y las descargas presentan una elevada carga contaminante hacia los ríos y al mar ([INVEMAR, 2023a](#)). Estos factores, junto con la mala gestión de residuos, contribuyen al arrastre de materiales sólidos por las corrientes y mareas, los cuales se acumulan y degradan debido a la acción de los vientos, las corrientes y los rayos UV.

En el año 2022 se recolectaron muestras de arena de 29 playas ubicadas en nueve (9) departamentos costeros de Colombia, seis (6) en la región Caribe (La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Córdoba y San Andrés y Providencia (SAI); y tres (3) en la región Pacífico (Chocó, Valle del Cauca y Cauca) (Figura 76). Los muestreos se realizaron siguiendo las metodologías establecidas y adaptadas por el INVEMAR. En cada playa, se estableció un transecto en la línea de más alta marea, compuesto por cinco cuadrantes de 0,5 x 0,5 m.

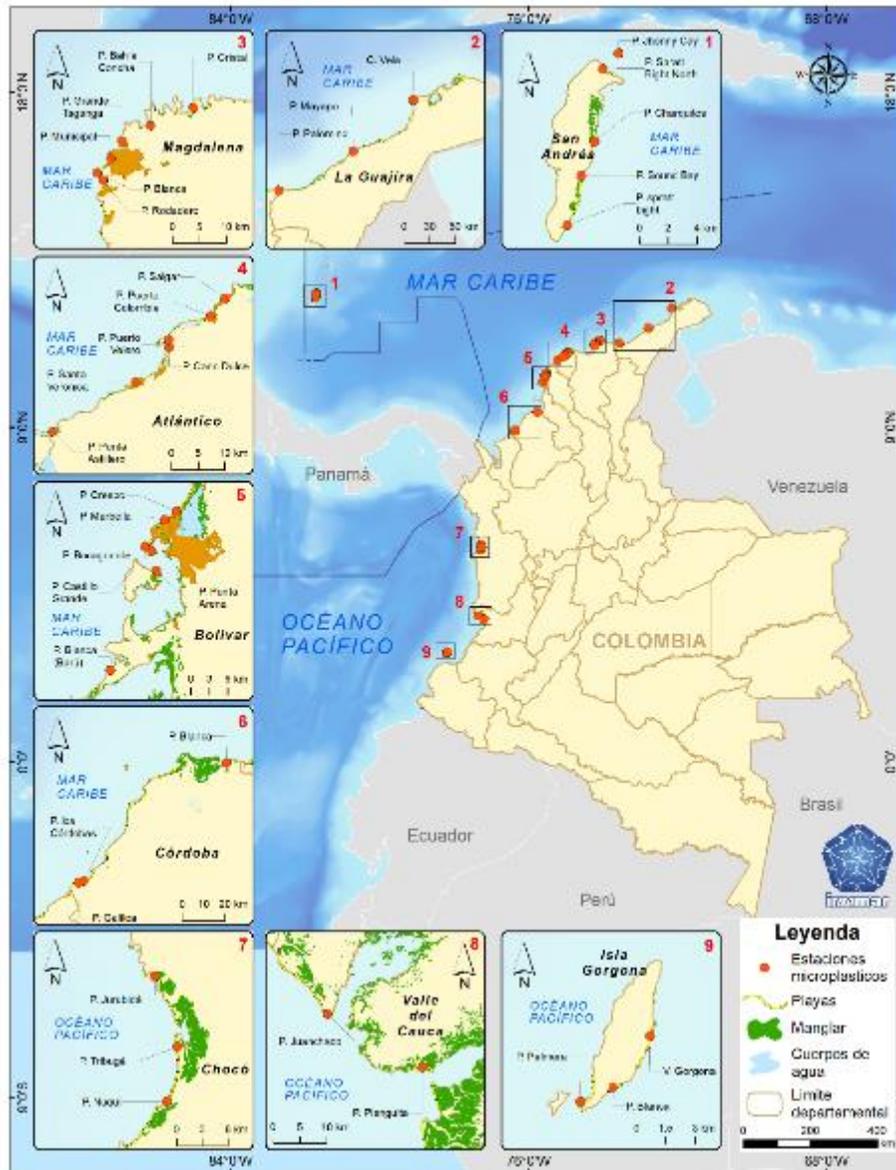
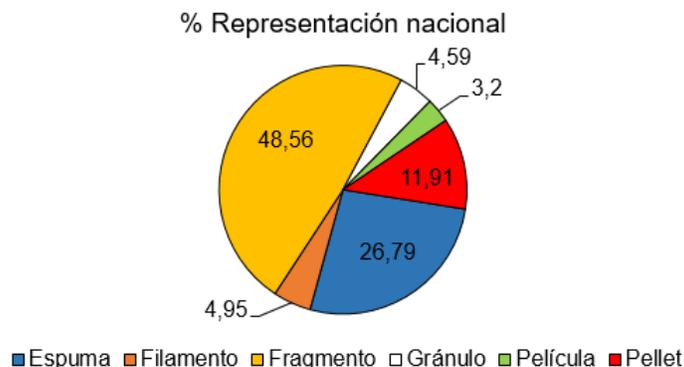


Figura 76. Estaciones de monitoreo REDCAM de microplásticos año 2021. (INVEMAR, 2023)

Como resultado del muestreo de arena de playa del año 2022, se determinó que la abundancia de microplásticos osciló entre 14,4 y 6.060 ítems/m<sup>2</sup>. Las playas que presentaron mayor contaminación se encontraron en los departamentos de Atlántico, Bolívar, Chocó y Valle del Cauca. Las formas de microplásticos más abundantes en las playas de arena de Colombia fueron fragmentos con un 48,56%, seguido por espumas con un 26,79% y pellets 11,91% (Figura 77).



**Figura 77.** Proporción de los tipos de microplásticos en las muestras de arena de las playas de Colombia, colectadas en el año 2022.

En la región Caribe, las abundancias de microplásticos en arena de playa de los departamentos (SAI, Córdoba, Bolívar, Atlántico, Magdalena y La Guajira) variaron entre 0 a 3.657,6 ítems/m<sup>2</sup> (Figura 78). Durante la época seca, las mayores abundancias se presentaron en el departamento del Atlántico en la estación Punta Astillero, con 3.657,6 ítems/m<sup>2</sup>, seguido por Playa Salgar y Playa Caño dulce, con 730 y 213,6 ítems/m<sup>2</sup> respectivamente. Esto se atribuye a la influencia de las actividades antrópicas, la dinámica marino-costera y las corrientes oceánicas. Se destaca la contribución del río Magdalena, que transporta residuos hacia las zonas costeras del departamento del Atlántico debido a la ausencia de una barrera natural de mangle a lo largo de la costa, lo que permite que el viento y las corrientes transporten estos desechos a las playas ([Rangel-Buitrago et al., 2021](#)). Durante la época lluviosa, las mayores abundancias se registraron en Bolívar, en la estación Punta Arena con 748 ítems/m<sup>2</sup>. En este departamento, existe un alto desarrollo socio-económico como la industria, puertos, comercio y turismo, junto con influencia directa por la descarga de aguas continentales a través del Canal del Dique ([Lebreton et al., 2017](#)). En la época de lluvias, los niveles de escorrentía aumentan, lo que facilita el transporte de microplásticos hacia las zonas costera. Estos resultados coinciden con estudios previos realizados por [Garcés-Ordóñez et al. \(2020\)](#) y [Rangel-Buitrago et al. \(2021\)](#).

En los departamentos de Córdoba y La Guajira se presentaron las menores abundancias de microplásticos (Figura 78). En Córdoba las playas monitoreadas se encuentran dentro de la cobertura del Programa de Prestación del Servicio de Aseo [SEACOR S.A E.P.S. \(2019\)](#); además, prestadores de servicios turísticos realizan labores de limpieza en estas playas y la corporación CVS con el apoyo de INVEMAR ha liderado jornadas de limpieza. Por otro lado, La Guajira tiene muy poca actividad industrial, pero es un destino turístico popular, las playas evaluadas son atractivas por los paisajes naturales y su ubicación alejada de las zonas urbanas, lo que resulta en una disponibilidad limitada de servicios comerciales; además, las acciones turísticas comunitarias realizan limpieza en estas zonas ([Garcés-Ordóñez et al., 2020](#)).

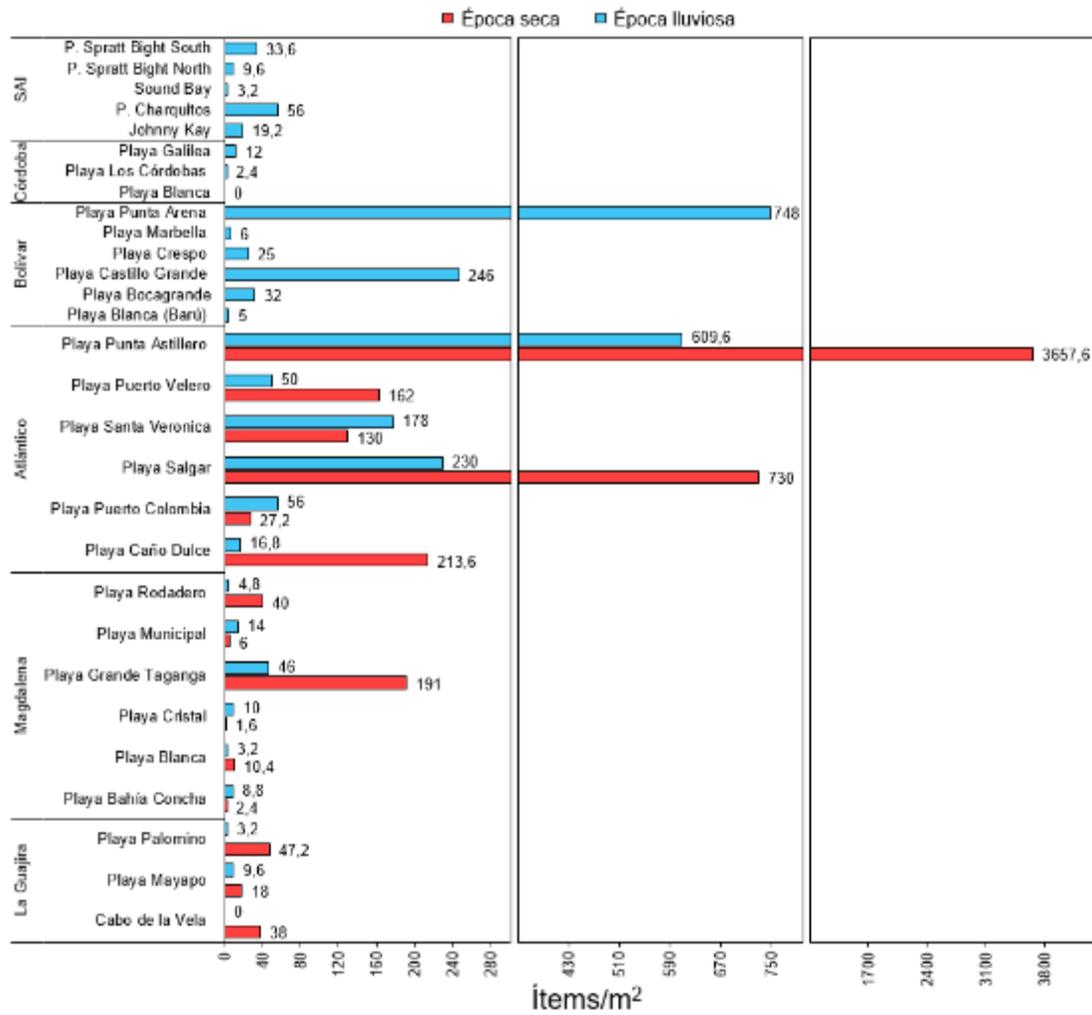


Figura 78. Abundancia de microplásticos en las playas turísticas del Caribe, registradas en los muestreos realizados en el época seca y época lluviosa en 2022.

Las formas de microplásticos más abundantes fueron de origen secundario (Figura 79; Tabla 33), comportamiento similar a lo encontrado en el año 2021 (INVEMAR 2023b). La predominancia de microplásticos de origen secundario ha sido reportado por Garcés-Ordóñez *et al.* (2020). Por otro lado, el departamento de Bolívar ha sido considerado como foco de contaminación por microplásticos primarios (Acosta-Coley *et al.*, 2019), los cuales son directamente fabricados por la industria y se utilizan como materia prima en productos de aseo personal, del hogar, pinturas, entre otros; los cuales llegan al ambiente a través de las escorrentías (Williams & Rangel-Buitrago, 2019). En el Atlántico y Magdalena también se ha reportado la presencia de microplásticos primarios, los cuales son transportados principalmente por el Río Magdalena.

Tabla 33. Tipos de microplásticos encontrados en la arena de las playas del Caribe

Porcentajes de microplásticos						
Tipos	SAI	Córdoba	Bolívar	Atlántico	Magdalena	La Guajira
Espuma	33,55	27,78	20,86	24,54	51,54	2,07
Filamento	1,97	0	2,86	5,04	6,15	66,21
Fragmento	57,89	50,0	36,9	50,9	29	31,03
Gránulo	0,66	0	38,93	0,05	0	0
Película	1,32	0	0,08	4,07	12,29	0,69
Pellet	4,61	22,22	0,38	15,38	0,95	0

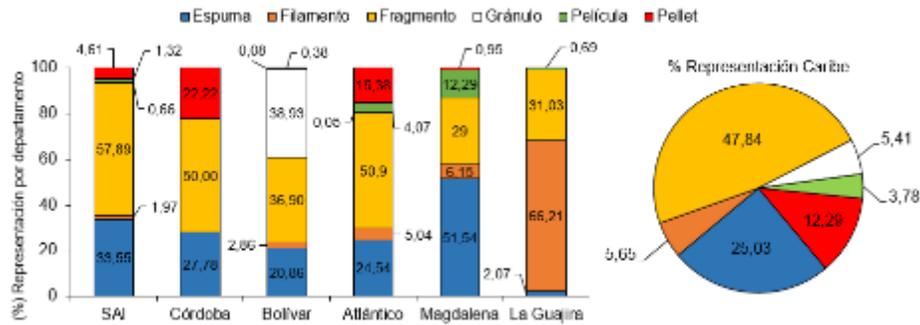


Figura 79. Proporción de los tipos de microplásticos en las muestras de arena de las playas del Caribe, colectadas en: Magdalena (marzo, septiembre y octubre), La Guajira (marzo), Bolívar (abril) y Antioquia (junio) del 2021 (INVEVAR, 2023).

En el Pacífico, las abundancias de microplásticos en arena de playa de los departamentos (Chocó, Valle del Cauca y Cauca) variaron entre 0 a 860 ítems/m<sup>2</sup>, donde al igual que en el Caribe, las formas de microplásticos más abundantes fueron de origen secundario. En Chocó, solo la estación Playa Tribugá reportó presencia de microplásticos, con el mayor valor para toda la región Pacífica (Figura 80). Por el contrario, en el departamento de Cauca los valores observados fueron bajos en comparación con otras playas turísticas; sin embargo, estuvieron dentro del rango observado en playas del Caribe en el departamento de Magdalena como Playa Cristal, Bahía Concha y Playa Blanca (10, 10,4 y 8,8 ítems/m<sup>2</sup> respectivamente).

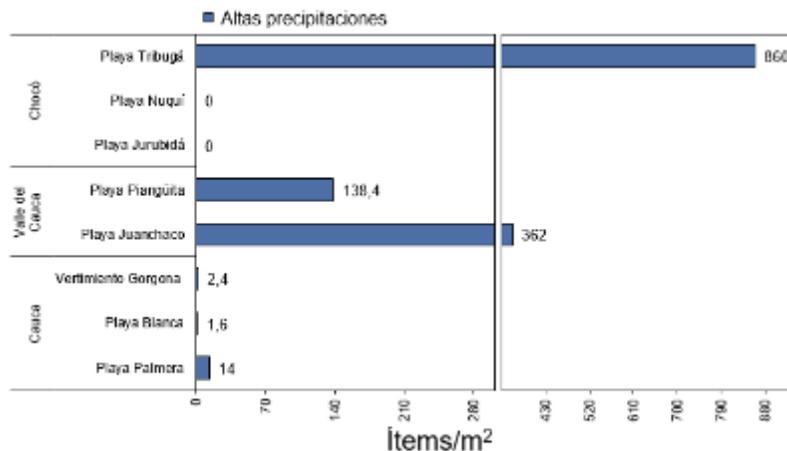


Figura 80. Abundancia de microplásticos en las playas turísticas del Pacífico, registradas en los muestreos realizados en el época seca y época lluviosa en 2022.

Cabe resaltar que las playas monitoreadas en Cauca se encuentran en la Isla Gorgona, un área protegida perteneciente al sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN), donde se ha implementado la Resolución 1558 de 2019 que prohíbe el ingreso de plásticos de un solo uso. Sin embargo, debido a su ubicación como isla y la dinámica marina impulsada por las corrientes, estas playas son receptoras de residuos provenientes del continente (INVEMAR, 2023a). En general, en la costa del Pacífico, pocas playas son utilizadas con fines recreativos; sin embargo, la acción de las mareas en la costa pacífica facilita el transporte de basura desde las zonas urbanas hacia las playas rurales, donde finalmente se acumulan y se degradan, como se ha observado en Buenaventura, Tumaco y Chocó, donde los plásticos se acumulan en la zona superior de la playa (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2020).

En cuanto las formas de microplásticos encontradas, en Chocó el 62,23 % fue fragmento, 26,23 % espuma, y 11,53 % pellet; mientras que en Valle del Cauca el 55,75 % espuma, 37,22 % fragmento y 7,03 % pellet. Por el contrario, en Cauca se reportó el 81,82 % como filamento y 18,18 % como fragmento (Figura 81).

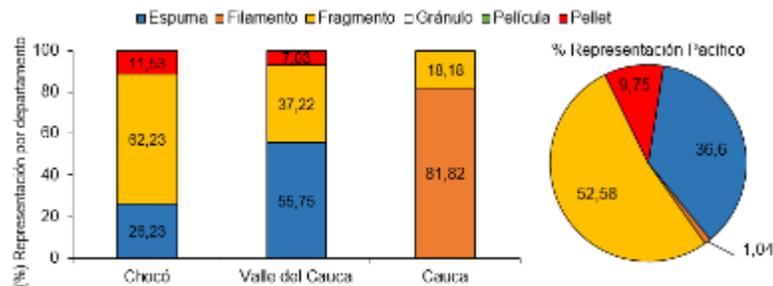


Figura 81. Proporción de los tipos de microplásticos en las muestras de arena de las playas del Pacífico, colectadas en: Cauca (agosto), Nariño (octubre) y Valle del Cauca (noviembre) del 2021.

Al contrastar los resultados del año 2022 con los encontrados en 2021, se hizo evidente que en la región Caribe, durante el 2022 hubo un aumento de las abundancias de microplásticos encontradas en los departamentos de Atlántico, Bolívar, Magdalena y La Guajira (INVEMAR, 2023b), alcanzando la mayor concentración (4.267,2 ítems/m<sup>2</sup>), en la estación Punta Astillero, departamento del Atlántico. En las playas Castillo Grande y Punta Arena en el departamento de Bolívar, las abundancias pasaron de 31 a 246 ítems/m<sup>2</sup> en Castillo Grande y de 6 a 748 ítems/m<sup>2</sup> en Punta Arena (Figura 82). En Playa Cristal y Playa Grande del departamento del Magdalena, pasando de 6 a 11,2 ítems/m<sup>2</sup> y de 26 a 238 ítems/m<sup>2</sup>, respectivamente, y en Playa Mayapo y Playa Palomino, en el departamento de La Guajira, pasando de 6 a 28 ítems/m<sup>2</sup> en Mayapo y de 14 a 50,4 ítems/m<sup>2</sup> en Palomino.

En la región Pacífico (Figura 83), en Playa n el departamento de Valle del Cauca y Vertimiento Gorgona del departamento de Cauca, se observó un descenso en las concentraciones de microplásticos. En Playa Piangüita, la concentración pasó de 182 a 138,4 ítems/m<sup>2</sup>, mientras que en Vertimiento Gorgona pasó de 25 a 2,4 ítems/m<sup>2</sup>.

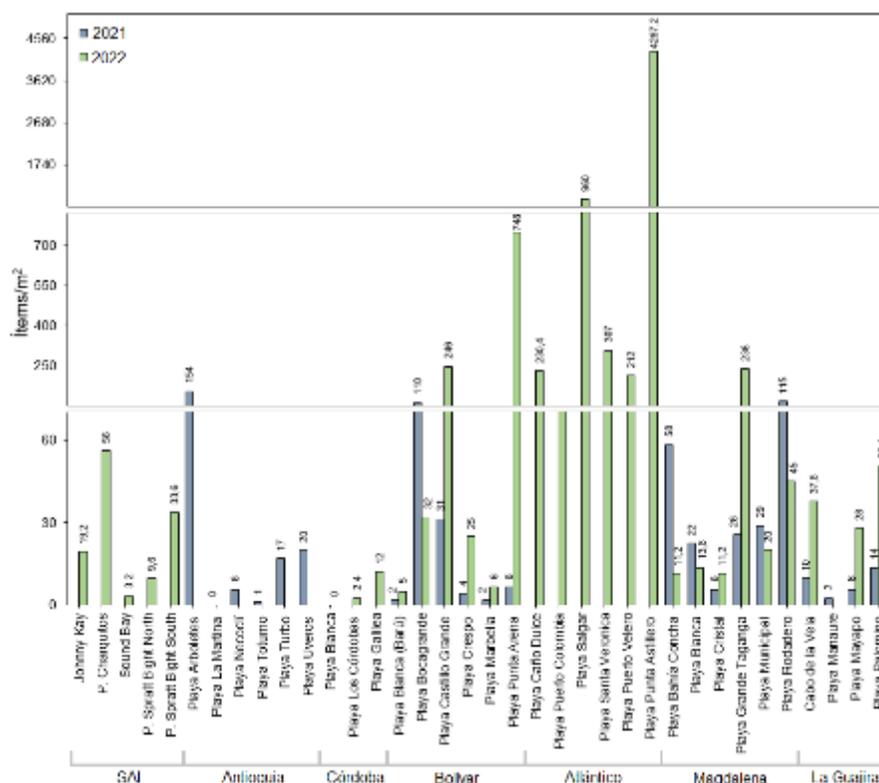


Figura 82. Abundancia de microplásticos en las playas turísticas del Caribe, registradas en los muestreos realizados en el año 2021 y 2022.

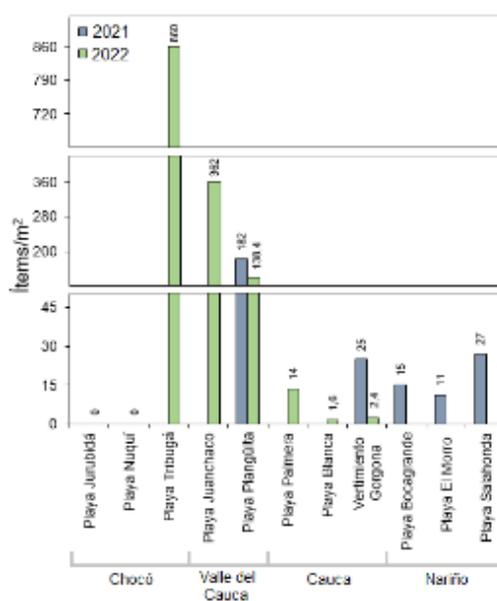


Figura 83. Abundancia de microplásticos en las playas turísticas del Pacífico, registradas en los muestreos realizados en el año 2021 y 2022.

## Bioprospección marina

El ecosistema marino es considerado una fuente sub-explorada de compuestos biológicamente activos con un potencial significativo para su implementación en los sectores de la salud, la industria y la protección del medio ambiente (Ghattavi & Homaei, 2023). Por tales motivos, la búsqueda sistemática de nuevos productos funcionales de origen marino costero, ampliamente conocida como bioprospección de organismos marinos, continúa siendo un foco de interés internacional y uno de los ejes del desarrollo de una bioeconomía en Colombia. Tan solo en el 2020 se describieron cerca de 1400 productos naturales derivados de diversos organismos y microorganismos marinos con usos potenciales en el sector salud (Carroll et al., 2022). Sin embargo, se reporta que más del 50% de las patentes relacionadas a bioprospección marina fueron presentadas por actores localizados en sociedades altamente industrializadas como Japón, Estados Unidos, Alemania y Korea (Zhivkoplías et al., 2023).

En países en vía de desarrollo, el aprovechamiento del vasto potencial de su biodiversidad, en simultaneo con la protección de sus recursos vulnerables, requiere de proyectos con un enfoque interdisciplinario y multiinstitucional donde la participación de los institutos educativos y de investigación, así como representantes de las comunidades, el gremio industrial y los entes reguladores, pueda incrementar considerablemente la calidad, la competitividad, la inclusión social y los impactos ambientales de los resultados alcanzados. Asimismo, se debe propender por la formación de alianzas estratégicas con entes internacionales que procuren la transferencia de conocimiento en bioprospección de los países más avanzados hacia economías emergentes (Vargas-Carpintero et al., 2023).

Históricamente, la agenda pública nacional colombiana ha incluido lineamientos que han permitido el apoyo a iniciativas de bioprospección marina. Entre ello se destacan la Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros (PNOEC) (2016-2030) donde se promueve el uso sostenible de la biodiversidad marina y de estrategias de conservación de los ambientes marino-costeros (CCO, 2017). Otras directivas incluyen el Programa Colombia BIO y la Misión Nacional de Bioeconomía con el que se generó conocimiento de la diversidad biológica por medio de expediciones y se desarrollaron bioproductos a partir de la biodiversidad (Minciencias, 2022). Recientemente, las bases del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022-2026 “Colombia potencia mundial de la vida” lista como reto el aprovechamiento del patrimonio natural en la diversificación productiva para generar riqueza, reconociendo la falta de bioproductos colombianos en etapa de precomercialización y comercialización en los mercados nacionales e internacionales (DNP, 2022). Se esperan entonces convocatorias de investigación y desarrollo tecnológico que promuevan uso sostenible del capital natural del país y la obtención de bienes y servicios de base biotecnológica en los que los organismos marinos pueden jugar un papel importante debido a resultados promisorios de diferentes instituciones y grupos de investigación en la última década.

En este informe se presentan los resultados reportados en revistas indexadas desde el año 2007 hasta enero del año 2024 de las investigaciones enfocadas en el desarrollo de bioproductos y servicios derivados de organismos marinos del territorio nacional. Respecto al informe del año 2022 (INVEMAR, 2023) se incluyen los resultados de 4 investigaciones en las que se extraen y caracterizan

diversos compuestos bioactivos y metabolitos secundarios derivados de especies marinas del territorio nacional o en la que se desarrollan servicios para la remediación ambiental.

Entre las nuevas investigaciones destacadas se encuentran estudios que evaluaron el potencial de microorganismos marinos, o sus enzimas, para el desarrollo de servicios ambientales. Por ejemplo, Alvarado-Campo et al. (2023) realizaron estudios de cribado de tolerancia a tres metales pesados (plomo, cadmio y zinc) de 276 microorganismos aislados de sedimentos del Pacífico norte y Atlántico sur. Sus ensayos permitieron determinar que todos los microorganismos marinos presentan tolerancia a alguno de los metales evaluados y detectar una sensibilidad más generalizada al cadmio que al plomo y al zinc. Además, estudios enfocados en remoción de plomo de soluciones líquidas lograron determinar porcentajes de remoción promisorios ( $0.29 \text{ mg Pb h}^{-1} \text{ mgbiomass}^{-1}$ ) con la bacteria Gram negativa *Pseudomonas* sp. INV PRT215. Por otro lado, Niño Corredor et al. (2023), mediante un estudio bioinformático, identificaron la presencia de genes codificadores de lacasas en la bacteria marina epifita *Achromobacter denitrificans* cepa EPI24, aislada de “La Punta de la Loma” en Santa Marta. La anotación funcional predijo secuencias de genes codificantes de lacasas y oxidadas multicobre, enzimas asociadas a la respuesta de defensa de la bacteria frente a materiales contaminantes como hidrocarburos, metales pesados, y el estrés oxidativo que puede generar el organismo hospedero (la macroalga *Ulva lactuca*). Estos resultados identifican la posibilidad de emplear diversos microorganismos marinos y sus enzimas en procesos de remediación de contaminantes complejos y la necesidad de completar futuros estudios destinados a profundizar el conocimiento de estos procesos que permitan el desarrollo a mediano plazo de servicios de biorremediación robustos, versátiles y eficientes.

Metabolitos con potenciales usos en la industria dermocosmética también fueron reportados por Luna-Pérez et al. (2023) evaluaron la capacidad antioxidante y el potencial de inhibición de colagenasa y elastasa de diversas fracciones de dos tipos de extractos obtenidos de la macroalga *Sargassum filipendula* colectada en Santa Marta. Las fracciones demostraron poseer diferentes actividades biológicas atribuidas a la presencia de diferentes tipos de compuestos en cada de ellas. Análisis de caracterización química, que incluyeron espectrometría UV-VIS, infrarroja (FTIR), resonancia magnética nuclear (RMN), HPLC y UHPLC/MS, identificaron la presencia de polisacáridos (fucoidanos) y compuestos polifenólicos (florotaninos) en las fracciones de los extractos. Estos tipos de compuestos presentan aplicaciones en el sector cosmético al reducir los efectos en la piel generados por el estrés oxidativo y el daño enzimático a la matriz extracelular.

También se publicaron estudios empleando microorganismos de ambientes marinos cuyos resultados tienen aplicación en el sector agrícola, particularmente en el control biológico de plagas que afectan cultivos importantes del territorio nacional. (Holguín-Sterling et al. (2023), evaluaron extractos de seis bacterias marinas frente a cuatro especies del hongo *Coletotrichum*, causante de la antracnosis, una de las enfermedades postcosecha más graves en los frutos del mango. Tres de las bacterias fueron aisladas de sedimentos costeros (*Bacillus safensis* INV FIR26, *Bacillus velezensis* INV FIR 31 y *Bacillus* sp. INV FIR35) y tres de sedimentos de profundidad (*Bacillus* sp. INV FIR48, *Pseudoalteromonas* sp. INV PRT33 y *Micromonospora* sp. INV ACT5). Ensayos de enfrentamiento bacteria-patógeno identificaron a *B. velezensis* INV FIR31 como la bacteria más promisoriosa en la inhibición del crecimiento micelial del patógeno y por lo tanto, fue empleada para la obtención de

extractos con posibles usos para el control biológico de la enfermedad. Las aplicaciones de los extractos en frutos inoculados con el patógeno alcanzaron a controlar las especies fúngicas en diferentes proporciones (42 al 92%) comparado con mangos no tratados con el extracto. Análisis químicos que incluyeron FTIR y HPLC-MS/MS identificaron la presencia del lipopéptido bacilomicina D, un biosurfactante de la familia iturina, caracterizado por ser altamente fungitóxicos. Adicionalmente, se indicó la posible presencia de otras moléculas con actividad biológica en el extracto obtenido de los cultivos de la bacteria marina.

A pesar de los importantes avances encontrados en la literatura, todavía se hace evidente la falta de acercamientos multisectoriales e interdisciplinarios que permitan el desarrollo de los bioprocesos para la producción a gran escala de los metabolitos de interés y su posterior comercialización. Las publicaciones halladas se centran principalmente en la etapa de obtención de los productos/servicios, pero hace falta una cobertura integral de las cadenas de valor de los bienes que se pretenden obtener. Por lo tanto, se hace necesario impulsar la conformación de alianzas estratégicas entre industria, academia, productores de materias primas, gobierno y otras partes interesadas que permitan la consolidación de los bioprocesos y sus cadenas de valor para potenciar a Colombia como un país competitivo en el aprovechamiento sostenible de sus vastos recursos marinos.

**Tabla 34. Consolidado de especies marinas por grupo de organismo con al menos un ensayo de bioactividad evaluado hasta 2023 Y las que se han caracterizado químicamente hasta el 2023.**

Grupo	Número registrado de especies*	Número estimado de especies*	Especies ensayadas hasta 2022	Especies nuevas ensayadas 2023	Especies caracterizadas químicamente hasta 2022	Especies nuevas caracterizadas químicamente 2023
Equinodermos*	325	394	15	0	9	0
Bryozoa*	95	118 <sup>a</sup>	0	0	0	0
Poliquetos*	10	261	0	0	0	0
Corales*	141	153	51	0	17	0
Antipatharios* <sup>a</sup>	18	18 <sup>a</sup>	0	0	0	0
Anemonas* <sup>a</sup>	18	18 <sup>a</sup>	0	0	0	0
Hidrozoos*	41	90	0	0	0	0
Esponjas* <sup>a</sup>	168	350 <sup>a</sup>	122	0	43	0
Algas*	520	620	33	2	20	2
Zoantideos*	6	9	4	0	3	0
Moluscos*	1545	1.170	1	0	0	0
Bacterias* <sup>†</sup>	94	652 <sup>†</sup>	128	283	16	1
Hongos* <sup>†</sup>	2	1097 <sup>†</sup>	21	0	0	0
<b>Total</b>	<b>2983</b>	<b>2697</b>	<b>375</b>	<b>285</b>	<b>108</b>	<b>3</b>

\*El número registrado y estimado de especies marinas en Colombia se actualizó de acuerdo al reporte de Montoya-Cadavid E. y Bohorquez J. (Instituto Humboldt, 2019) el cual se obtiene a partir de los datos registrados en los sistemas de información de biodiversidad de Colombia (SiBM <https://www.sibcolombia.net/actualidad/biodiversidad-en-cifras/> y SiB: <https://sibcolombia.net/>), en las colecciones biológicas (Museo de Historia Natural Marina de Colombia - Makuriwa) y/o a partir de la revisión de artículos publicados en revistas indexadas, sobre las especies marinas de Colombia.

<sup>a</sup>Para estas especies no existe un valor puntual registrado o estimado, es un dato incierto y simplemente se toma como referente el dato obtenido de la bibliografía revisada por Montoya-Cadavid E. y Bohorquez J. (Instituto Humboldt, 2019).

<sup>†</sup>El número estimado corresponde a especies de microorganismos marinos catalogados a nivel mundial (Mora et al., 2011).

25. Indicador de especies bioprospectadas (ensayadas)	
Definición e importancia del indicador	
<p>El indicador contabiliza la cantidad de especies por grupo de organismos marinos recolectados en Colombia, a los que se les ha realizado al menos un ensayo para evaluar su potencial bioactivo. Adicionalmente, se detalla el trabajo realizado durante el año, mostrando el total de ensayos que se realizaron ya sea en un organismo marino o un derivado del mismo; por ejemplo, algún compuesto modificado o natural. Se discrimina dentro de este indicador, los ensayos en especies por grupo de organismos no estudiados previamente y los ensayos en especies para las cuales se ha reportado al menos una prueba para evaluar su potencial bioactivo o degradación de hidrocarburos o metales pesados.</p>	
Fuente de los datos e información	
Publicaciones científicas en bases de datos Scielo, Redalyc, Science Direct y Pubmed.	
Periodo reportado	
• 2007-2023.	
Reporte o cálculo del indicador	

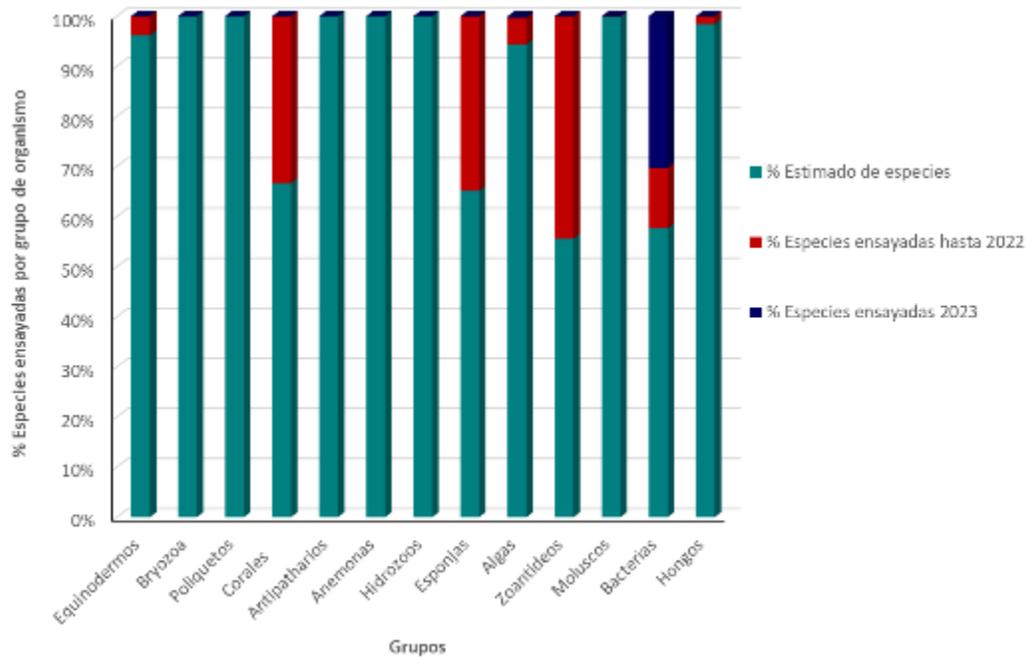


Figura 84. Porcentaje de especies ensayadas por grupo de organismo para evaluar su bioactividad.

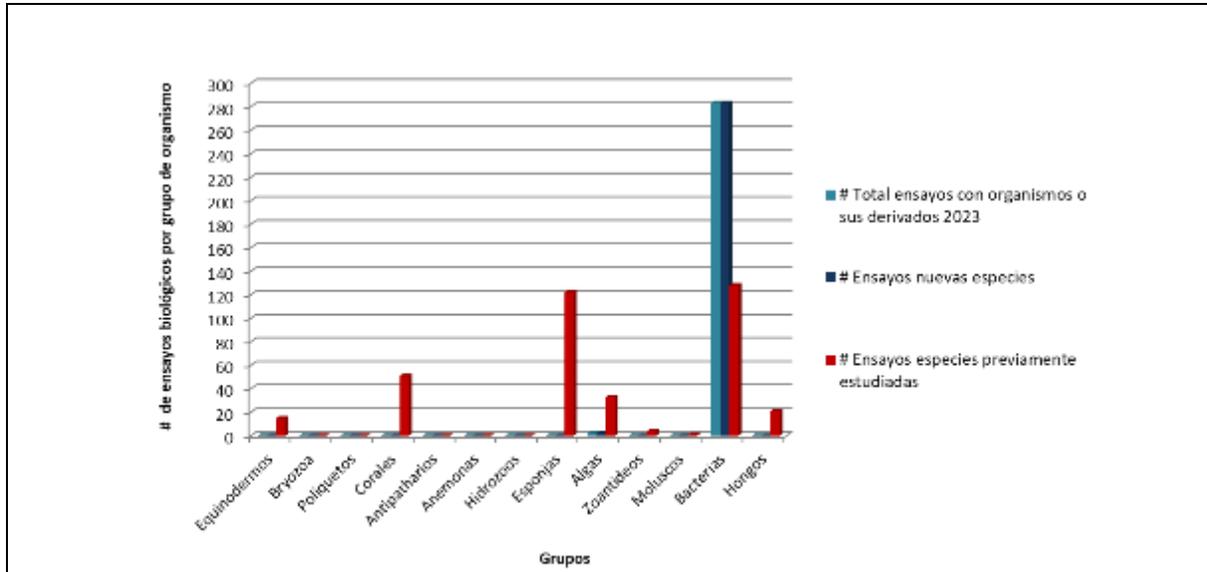


Figura 85. Número de ensayos biológicos evaluados en especies por grupo de organismo marino y sus derivados.

### Interpretación de los resultados

En el año 2023, se publicaron resultados de 278 aislados bacterianos, seleccionando dos bacterias de los géneros *Pseudomonas* para remover el plomo y *Achromobacter* de interés y la presencia de genes codificantes de lacasas y oxidasas multicobre, enzimas asociadas a la respuesta de defensa de la bacteria frente a materiales contaminantes como hidrocarburos, metales pesados. Por otra parte, a partir de la macroalga *Sargassum filipéndula* se evaluó la capacidad oxidante de diversas fracciones identificaron la presencia de polisacáridos (fucoidanos) y compuestos polifenólicos (florotaninos) en las fracciones de los extractos. Estos tipos de compuestos presentan aplicaciones en el sector cosmético

Hasta el año 2023 se han ensayado en total 660 especies; las bacterias, zoantideos, esponjas y corales continúan siendo los grupos con especies más estudiadas, sin embargo, el porcentaje de bacterias ensayadas permanece en incremento con el transcurso de los años (Figura 84). Durante el 2023, las investigaciones se enfocaron en el análisis del potencial bioactivo de algas y microorganismos marinos (bacterias) aislados de agua y sedimentos (Figura 85). Los ensayos se centraron en la evaluación de la capacidad de remover metales pesados, en el control de plagas en los frutos del manfo y como potencial uso en industrias como la farmacéutica y cosmética

### Limitaciones del indicador

No toda la información es publicada, ni se tiene acceso a todas las revistas y bases de datos.

### Recomendaciones y alternativas de manejo

Continuar avanzando en la búsqueda de especies con potencial bioactivo y/o biotecnológico en el país, mediante el fortalecimiento de los grupos de investigación, personal capacitado y equipos, generando bases de datos unificadas para Colombia en donde se permita el fácil acceso a la información sobre el avance de la investigación en el tema.

<b>26. Indicador de organismos marinos con estructura química determinada/ elucidada</b>																																																								
Definición e importancia del indicador																																																								
Número de organismos a los cuales se les ha caracterizado parte de su estructura química.																																																								
Fuente de los datos e información																																																								
Publicaciones científicas en bases de datos Scielo, Redalyc, Science Direct y Pubmed.																																																								
Periodo reportado																																																								
• 2007 a 2022.																																																								
Reporte o cálculo del indicador																																																								
<table border="1"> <caption>Data for Figure 86: % Especies por grupo de organismo</caption> <thead> <tr> <th>Grupo</th> <th>% Estimado especies</th> <th>% Especies caracterizadas químicamente hasta 2022</th> <th>% Especies caracterizadas químicamente 2023</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equinodermos</td><td>98</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>Briozoos</td><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Poliquetos</td><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Corales</td><td>90</td><td>10</td><td>0</td></tr> <tr><td>Antipatharios</td><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Anemonas</td><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Hidrozoos</td><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Esponjas</td><td>90</td><td>10</td><td>0</td></tr> <tr><td>Algas</td><td>95</td><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>Zoentibias</td><td>68</td><td>32</td><td>0</td></tr> <tr><td>Moluscos</td><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Bacterias</td><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Hongos</td><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Grupo	% Estimado especies	% Especies caracterizadas químicamente hasta 2022	% Especies caracterizadas químicamente 2023	Equinodermos	98	2	0	Briozoos	100	0	0	Poliquetos	100	0	0	Corales	90	10	0	Antipatharios	100	0	0	Anemonas	100	0	0	Hidrozoos	100	0	0	Esponjas	90	10	0	Algas	95	5	0	Zoentibias	68	32	0	Moluscos	100	0	0	Bacterias	100	0	0	Hongos	100	0	0
Grupo	% Estimado especies	% Especies caracterizadas químicamente hasta 2022	% Especies caracterizadas químicamente 2023																																																					
Equinodermos	98	2	0																																																					
Briozoos	100	0	0																																																					
Poliquetos	100	0	0																																																					
Corales	90	10	0																																																					
Antipatharios	100	0	0																																																					
Anemonas	100	0	0																																																					
Hidrozoos	100	0	0																																																					
Esponjas	90	10	0																																																					
Algas	95	5	0																																																					
Zoentibias	68	32	0																																																					
Moluscos	100	0	0																																																					
Bacterias	100	0	0																																																					
Hongos	100	0	0																																																					
<b>Figura 86. Especies de organismos marinos cuyos extractos han sido caracterizados químicamente.</b>																																																								
Interpretación de los resultados																																																								
En el 2023 se destaca la caracterización química y la identificación presencia de polisacáridos (fucoidanos) y compuestos polifenólicos (florotaninos) en las fracciones de los extractos de la macroalga <i>Sargassum filipendula</i> . Estos tipos de compuestos presentan aplicaciones en el sector cosmético al reducir los efectos en la piel generados por el estrés oxidativo y el daño enzimático a la matriz extracelular. También, se identificó la presencia de lipopéptido bacilomicina D, un biosurfactante de la familia iturina caracterizado por ser altamente fungitóxico de la bacteria <i>Bacillus velezensis</i> (Figura 86).																																																								
Limitaciones del indicador																																																								
No toda la información es publicada, ni se tiene acceso a todas las revistas y bases de datos.																																																								
Recomendaciones y alternativas de manejo																																																								
Continuar avanzando en la búsqueda de especies con potencial bioactivo y/o biotecnológico en el país mediante el fortalecimiento de los grupos de investigación, personal capacitado y equipos, generando bases de datos unificadas para Colombia en donde se permita el fácil acceso a la información sobre el avance de la investigación en el tema.																																																								

## Potencial de Carbono Azul en Colombia

Los manglares y pastos marinos ofrecen una variedad de servicios ecosistémicos; protección contra marejadas y el aumento del nivel del mar, prevención de la erosión a lo largo de las costas, regulación de la calidad del agua, reciclaje de nutrientes, seguridad alimentaria para comunidades costeras en todo el mundo, entre otros (Barbier et al., 2011; Cullen-Unsworth & Unsworth, 2013), otro de esos servicios que ha tomado relevancia en los últimos años porque juega un papel importante en la mitigación al cambio climático, es la captura, secuestro y almacenamiento del CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), el principal gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento de la atmósfera y el océano y que se emite en mayor parte por las actividades antrópicas (Parlamento Europeo, 2023).

El CO<sub>2</sub> se almacena en forma de carbono orgánico también conocido como carbono azul (Nelleman et al., 2009) y se incorpora en el suelo, en la biomasa aérea viva (hojas, ramas, tallos), en la biomasa subterránea viva (raíces) y en la biomasa muerta (detritos y madera muerta) de los manglares (Howard et al., 2014; Kauffman et al., 2013; Yepes et al., 2011) y en hojas, raíces, tallo, rizomas y suelo de los pastos marinos (Fourqurean et al., 2014 y Sanchez et al., 2012) (Figura 87), que a diferencia de los ecosistemas terrestres, el carbono secuestrado en los suelos costeros puede ser considerablemente mayor y puede quedar atrapado por períodos muy largos (siglos a miles de años) (Duarte et al., 2005).



**Figura 87. Medición de variables (suelos, biomasa, necromasa) para estimación de contenidos de carbono en manglares y pastos marinos. Fuente: Archivo INVEMAR.**

Colombia cuenta con aproximadamente 263.000 ha de manglares y 67.000 ha de pastos marinos (INVEMAR, 2020) que cuentan con normativas, programas y medidas de manejo para mejorar su conservación; sin embargo, están expuestos a muchas presiones que denotan la necesidad de aumentar esfuerzos para lograr su gestión efectiva. En este sentido, se han venido adelantando diferentes investigaciones para estimar los contenidos de carbono azul en estos dos ecosistemas (Figura 88), los resultados se constituyen en insumo para promover el ordenamiento y gestión marino y costera en consonancia con la política nacional existente y los compromisos internacionales en materia de cambio climático.

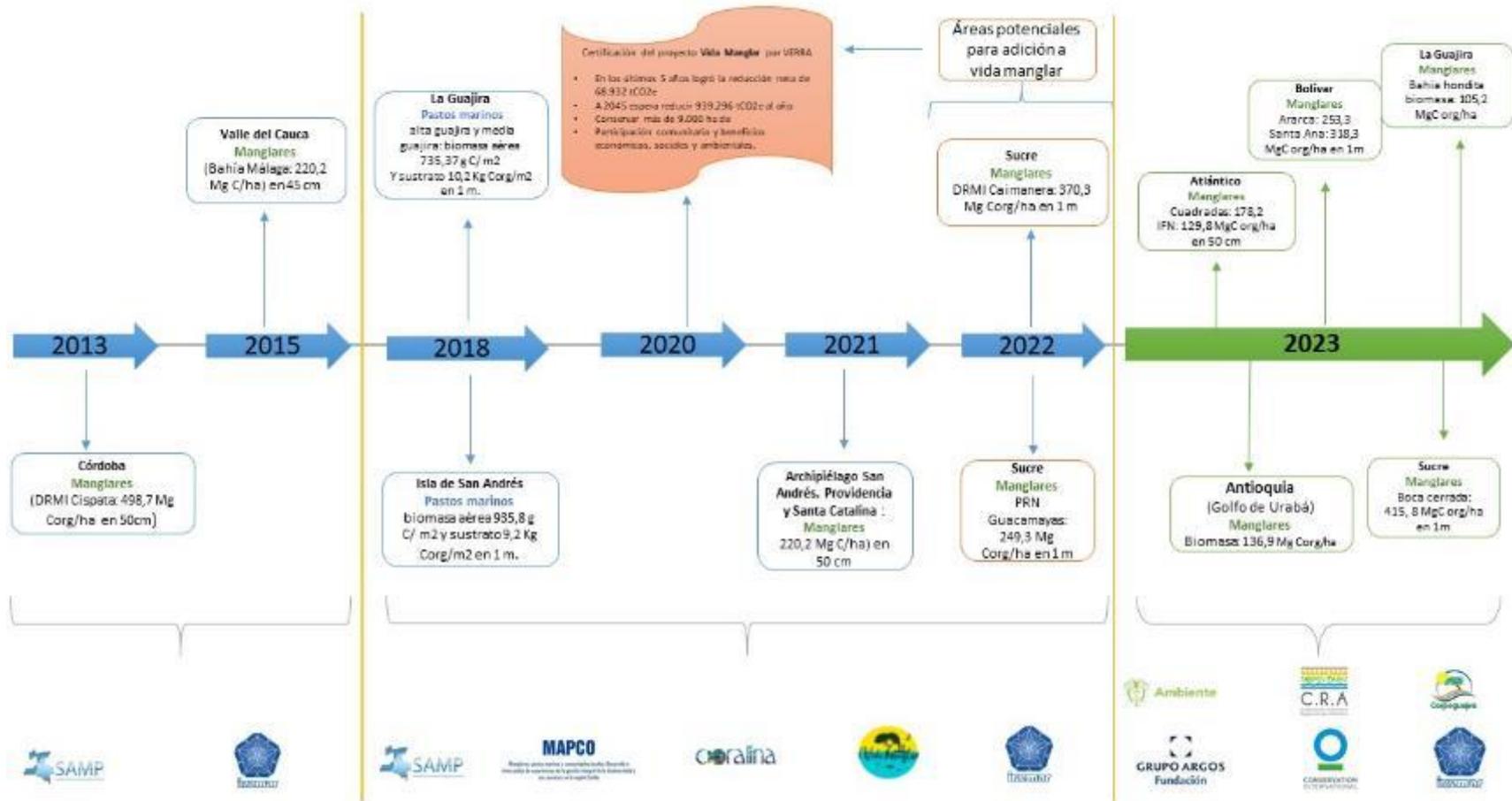


Figura 88. Línea de tiempo de las investigaciones en Carbono azul para manglares y pastos marinos.

Entre el 2013 y 2023 el INVEMAR ha trabajado en estimar la cantidad de carbono azul almacenado en los ecosistemas de manglar presentes en ocho departamentos del Caribe (San Andrés, Providencia y Santa Catalina, La Guajira, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia) y Pacífico (Valle del Cauca) colombiano (Figura 87). Así como contenidos de carbono azul en pastos marinos en la zona costera de La Guajira y el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Figura 88). Estos esfuerzos se han dado gracias a la financiación de proyectos de cooperación internacional en alianza con las autoridades ambientales costeras, organizaciones o fundaciones y empresas privadas que apoyan en la conservación y uso sostenible del medio ambiente como Conservación Internacional (CI), Fundación Omacha, Fundación Natura, Fundación grupo Argos, South Pole, APPLE, etc.

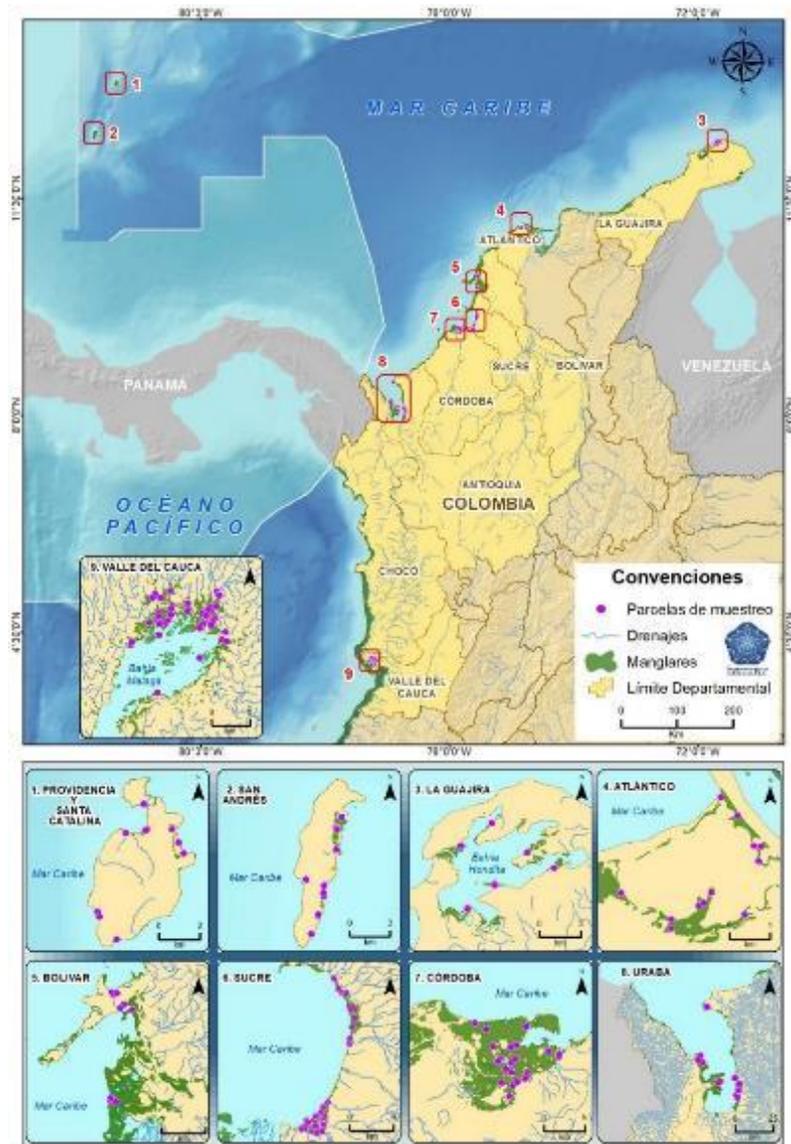


Figura 89. Áreas de manglar donde se han realizado estimaciones de carbono azul. Elaborado por: LabSis-INVEMAR.

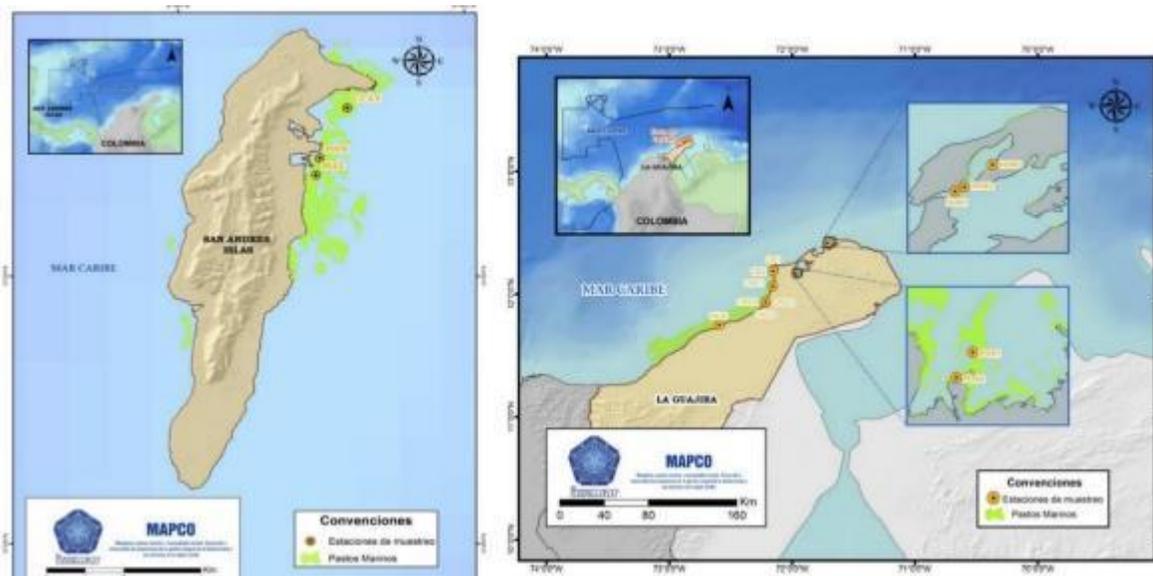


Figura 90. Áreas de pastos marinos donde se ha realizado estimaciones de carbono azul. Fuente: Proyecto MAPCO (INVEMAR-Fundación Natura, 2019).

La Tabla 35 muestra el promedio de carbono orgánico (Corg) por hectárea en cada ecosistema de manglar, según el componente evaluado: biomasa aérea, necromasa (biomasa de árboles muertos en pie y fragmentos de madera caída) y suelo (hasta la profundidad evaluada). Los resultados demuestran que el suelo es el componente que almacena mayor contenido de carbono, seguido de la biomasa y por último la necromasa. En Providencia y Santa Catalina, los contenidos de carbono orgánico en biomasa aérea son los más bajos, debido a que el muestreo se realizó después del paso del huracán IOTA.

Los sitios con mayor potencial de almacenamiento de carbono en suelo a 50 cm de profundidad son: la Bahía de Cispatá (Córdoba) y la Isla de San Andrés, y a 100 cm de profundidad son: Boca cerrada (Sucre) y Santa Ana (Bolívar). Es de resaltar que en la bahía de Cispatá se viene desarrollando el proyecto **Vida Manglar**, primer proyecto carbono azul en Colombia, certificado por el estándar internacional VERRA. Esta iniciativa entre 2015-2020 logró una reducción neta de 68.932 tCO<sub>2</sub>e que corresponden a bonos de carbono emitidos y vendidos en el mercado voluntario. Esto se ha constituido en una oportunidad tanto para promover la conservación del manglar y sus servicios ecosistémicos frente a la mitigación y adaptación al cambio climático, como para la sostenibilidad financiera, garantizando recursos económicos por la venta de bonos de carbono que financian actividades para el plan de manejo del área marina protegida y coadyuvando a fortalecer la gobernanza local.

Tabla 35. Carbono orgánico (Mg/ha) almacenado en los manglares de los proyectos por departamento

Departamento	Localidad	# Parcelas	Componente	Corg(Mg C/ha)	Autor/convenio
Córdoba	Bahía de Cispatá	23	Suelo (50 cm)	427	CARBONO & BOSQUES- INVEMAR (2013); CI- SouthPole-INVEMAR, (2021)
			Biomasa	64,9	
Valle del Cauca	Bahía Málaga	45	Suelo (45cm)	142,1	CARBONO & BOSQUES- INVEMAR (2015)
			Biomasa	71,9	
			Necromasa	6,3	
Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	Providencia y Santa Catalina	12	Suelo (50cm)	122	INVEMAR-CORALINA, (2022)
			Biomasa	8,9	
			Necromasa	42	
	San Andrés	22	Suelo (50cm)	320	
			Biomasa	118,5	
			Necromasa	8,3	
Sucre (Golfo de Morrosquillo)	DMI Caimanera	14	Suelo (100 cm)	269	INVEMAR-CI. (2022)
			Biomasa	93,5	
			Necromasa	8,69	
	PNR Guacamayas	11	Suelo (100cm)	181	
			Biomasa	61,2	
			Necromasa	7	
La Guajira	Bahía hondita	9	Biomasa	105,32	INVEMAR-DAMCRA. (2023)
Atlántico	Ciénaga de Mallorquín	8	Suelo (50cm)	71,8	INVEMAR-CI. (2023)
	Parcelas cuadradas		Biomasa	100,2	
			Necromasa	6,3	
	Ciénaga de Mallorquín Conglomerado IFN	1	Suelo (50cm)	88,7	
			Biomasa	73,9	
			Necromasa	3,49	
Bolívar y Sucre	Ararca	2	Suelo (100cm)	206,1	INVEMAR- FUNDACIÓN GRUPO ARGOS. (2023)
			Biomasa	46,7	
			Necromasa	0,5	
	Santa Ana	2	Suelo (100cm)	241,3	
			Biomasa	77	
			Necromasa	0,03	
	Boca Cerrada (Sucre)	2	Suelo (100 cm)	323,7	
			Biomasa	86,3	
			Necromasa	5,81	
Antioquia	Golfo de Urabá	15	Biomasa	132,31	INVEMAR-DAMCRA (2023)
			Necromasa	9,96	

### Carbono orgánico (Mg/ha) almacenado en manglares de Colombia

Para la isla de San Andrés, la información levantada que permitió cuantificar el stock de carbono en los suelos, mostró valores promedio de 241 Mg Corg/ ha, por encima de las estimaciones globales. (140 Mg Corg ha<sup>-1</sup>) (Serrano et al., 2021). Las existencias de Corg en el metro superior del suelo fueron hasta dos veces mayores en la Alta Guajira (353±125 Mg Corg ha<sup>-1</sup>) en comparación con la Bahía de Cartagena (142±61 Mg Corg ha<sup>-1</sup>), mientras que en las demás regiones las existencias de Corg en el suelo fueron intermedias, con valores medios que oscilaron entre 210 y 241 Mg Corg ha<sup>-1</sup>. Las relativamente bajas existencias de Corg en el suelo de las praderas marinas de la Media Guajira (210 Mg Corg ha<sup>-1</sup>) en comparación con las de la Alta Guajira (353 Mg Corg ha<sup>-1</sup>) está probablemente relacionada con la fuerte exposición de las praderas a la energía hidrodinámica en la primera.

En términos generales, la información generada sobre el carbono azul en Colombia es una herramienta clave para la gestión y ordenamiento de áreas marinas protegidas en coherencia con las políticas públicas nacionales (Plan Nacional de Desarrollo y Plan nacional de cambio climático), normatividad vigente (Resolución 2724 de 2017 para el ordenamiento de los pastos marinos, Ley 2243 de 2022 para la protección de manglares y Ley 2169 de 2021 para la acción climática) y la gestión que se requerirá para que puedan ser conservadas aportando a la mitigación del cambio climático y en apoyo a los compromisos internacionales como Objetivos de Desarrollo Sostenible (13 y 14), Metas Aichi (4, 10, 11 y 14) y metas para la Contribuciones nacionalmente determinadas (27, 28, 29, 35 y 46) en el marco del Acuerdo de París, entre otros.

## ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y VACÍOS DE INFORMACIÓN SOBRE CAUSAS Y TENSORES DEL CAMBIO DE LOS ECOSISTEMAS

### Causas y tensores directos de Ecosistemas

#### *Enfermedades, síntomas y signos asociados*

La incidencia y prevalencia de las enfermedades y muchas otras más, han venido aumentando en el tiempo, afectando los arrecifes coralinos de todo el mundo, con mortandades masivas e importantes reducciones de la cobertura de tejido vivo coralino (Sutherland *et al.*, 2004). Algunos autores asocian al incremento de la temperatura superficial del mar, la aparición y prevalencia de las enfermedades coralinas (Raymundo *et al.*, 2008; Ruiz-Moreno *et al.*, 2012).

Otros estudios han mostrado la influencia de los eventos de blanqueamiento en el incremento la ocurrencia de enfermedades coralinas debido a la susceptibilidad que se encuentran las distintas especies de coral en ese momento (Brandt y McManus, 2009; Croquer y Weil, 2009).

En las últimas décadas, docenas de estudios de salud arrecifal han identificado que los eventos masivos de blanqueamiento a causa de estrés térmico (principalmente más no el único) por calentamiento de las masas de agua, la ocurrencia de huracanes y eventos epizooticos de enfermedades coralinas, han disminuido significativamente la cobertura de coral vivo (Sutherland *et al.*, 2004; Gil-Agudelo *et al.*, 2009; Navas-Camacho *et al.*, 2010; Croquer *et al.*, 2022, Van Woesik *et al.*, 2022).

El blanqueamiento de corales se define como la pérdida de algas simbióticas y/o sus pigmentos fotosintéticos por pólipos de coral y se ha asociado frecuentemente con cambios drásticos en las condiciones fisicoquímicas del agua (temperatura, salinidad, transparencia, entre otras), mareas extremadamente bajas y enfermedades (Brown 1997; Sutherland *et al.* 2004; Suggett, 2020; Sully, 2020; Grottoli, 2021). En la mayoría de los casos, si después de varias semanas o meses el proceso responsable del blanqueo no se invierte, el coral morirá principalmente porque parte de los nutrientes utilizados por los corales se derivan de su relación simbiótica con las zooxantelas (Glynn 1993, Rosenberg y Ben-Haim 2002, Sutherland *et al.* 2004; Buerger *et al.* 2020; Boilard, *et al.*, 2020; Hernández, 2021). En los casos en que la decoloración no haya causado mortalidad de los corales, disminución de la capacidad reproductiva de los corales y perturbación de la se ha observado un desarrollo normal del coral (Rosenberg y Ben-Haim 2002). Daños extensos a los arrecifes debido a eventos de blanqueamiento se han documentado en lugares como Indonesia (1983), Tailandia (1991 y 1995), Francia Polinesia (1991 y 1994), y la Gran Caribe (1998) (CARICOMP, 1997). En Colombia, muertes masivas de corales por al blanqueamiento fueron documentados en el Pacífico en el PNN Gorgona (Prahl, 1983; Prahl, 1985, Vargas-Angel *et al.* 2001). Igualmente se han reportado efectos de blanqueamientos a lo largo de tres décadas en el Caribe (Zea y Duque-Tobón, 1989; Solano *et al.*, 1993; Solano, 1994). No se tiene un reporte de la mortalidad tras el blanqueamiento de 2010.

Desde febrero de 2023 de acuerdo con las imágenes de la NOAA (Coral Reef Watch), se evidenció un calentamiento en las aguas del Pacífico (<https://coralreefwatch.noaa.gov/>). A inicios del segundo semestre del 2023, las aguas del Pacífico americano y del Gran Caribe comenzaron a calentarse hasta llegar a los 32° Celsius, un valor nunca antes registrado. Como consecuencia, paulatinamente iniciando desde al Pacífico hasta el Caribe el océano presentó temperaturas consideradas como nocivas para la supervivencia de los corales, se presentó un evento masivo de blanqueamiento, algo sin precedentes en Colombia. Por lo anterior, y en el marco de las actividades misionales del INVEMAR se implementaron metodologías adaptadas de la propuesta de AGRRA y se generó un plan para desarrollar evaluaciones en campo en los sitios del monitoreo coralino que se programaron previamente a esta emergencia. De esta manera se podrá contar con información posterior al evento y tener como insumo para futuras evaluaciones y planes de restauración subsecuentes.

Durante el monitoreo de los arrecifes coralinos en Colombia se observó el blanqueamiento más extenso y grave registrado hasta la fecha, tanto en el Pacífico como en el Caribe, afectando las formaciones coralinas del país debido al aumento de la temperatura. En las cuatro áreas evaluadas Parque Nacional Natural Tayrona (Figura 92), Varadero (Figura 93), Parque Nacional Natural Old Providence McBean Lagoon (Figura 95) y el Santuario de Fauna y Flora Malpelo (Figura 95), se encontró que todos los arrecifes presentaban algún grado de blanqueamiento. Las especies más afectadas en el Pacífico fueron *Porites lobata* y *Gardineroseris planulata*, mientras que en el Caribe se observó un impacto significativo en especies como *Orbicella faveolata*, *O. annularis*, *Colpophyllia natans* y *Diploria labyrinthiformis*.

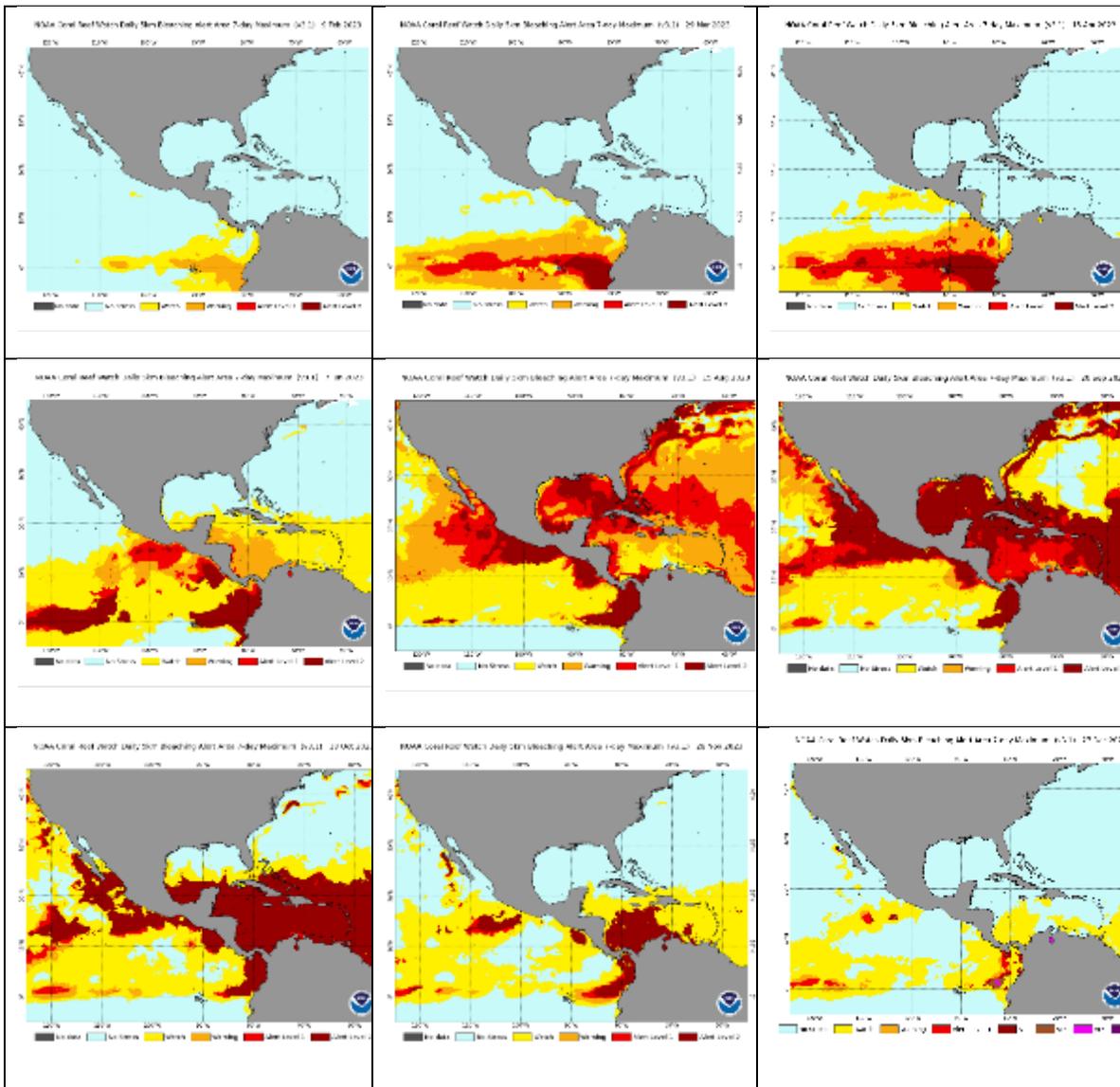


Figura 91. Imágenes de la página Coral Reef Watch de la NOAA de los meses de febrero, marzo, abril, junio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2023 en el que se evidencia el incremento paulatino y disminución en la distribución de la anomalía térmica tanto en el Pacífico como en el Caribe colombiano.

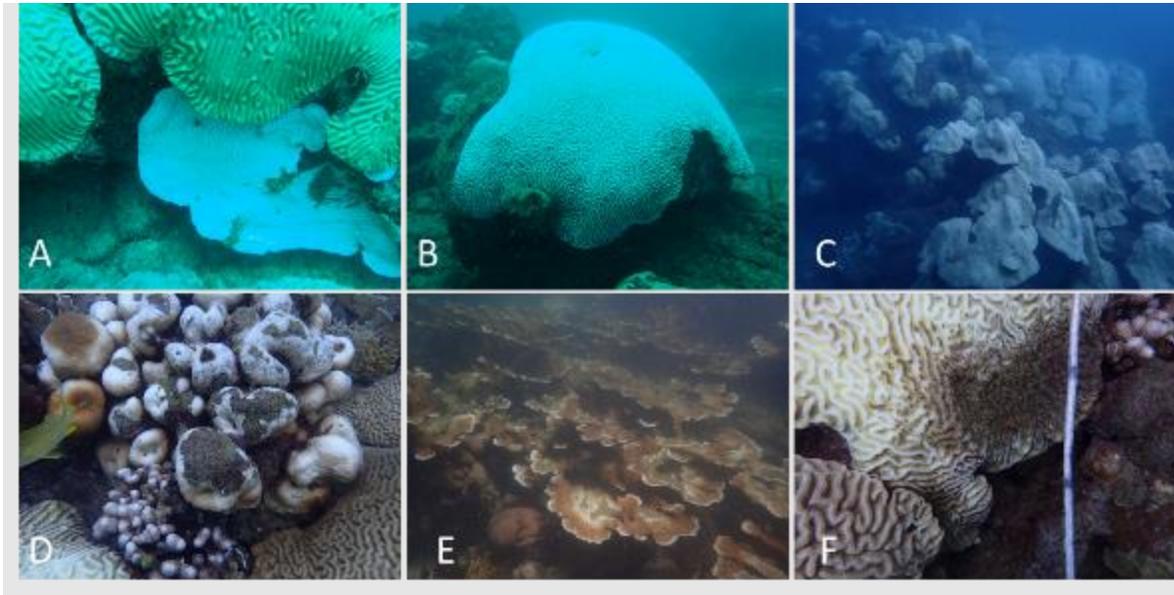


Figura 92. Colonias coralinas blanqueadas en el PNN Tayrona. A) *Agaricia Lamarcki* blanqueada junto a colonias de *Pseudodiploria strigosa*; B) Colonia de *Diploria labyrinthiformis* totalmente blanqueada; C) gran número de colonias de gran tamaño de *Orbicella annularis* blanca con mortalidad asociada al blanqueamiento en cada uno de sus ramets; E) colonias de *Acropora palmata* presentando blanqueamiento parcial y F) Colonia grande de *Colpophyllia natans* blanca y con un área considerable ya muerta.

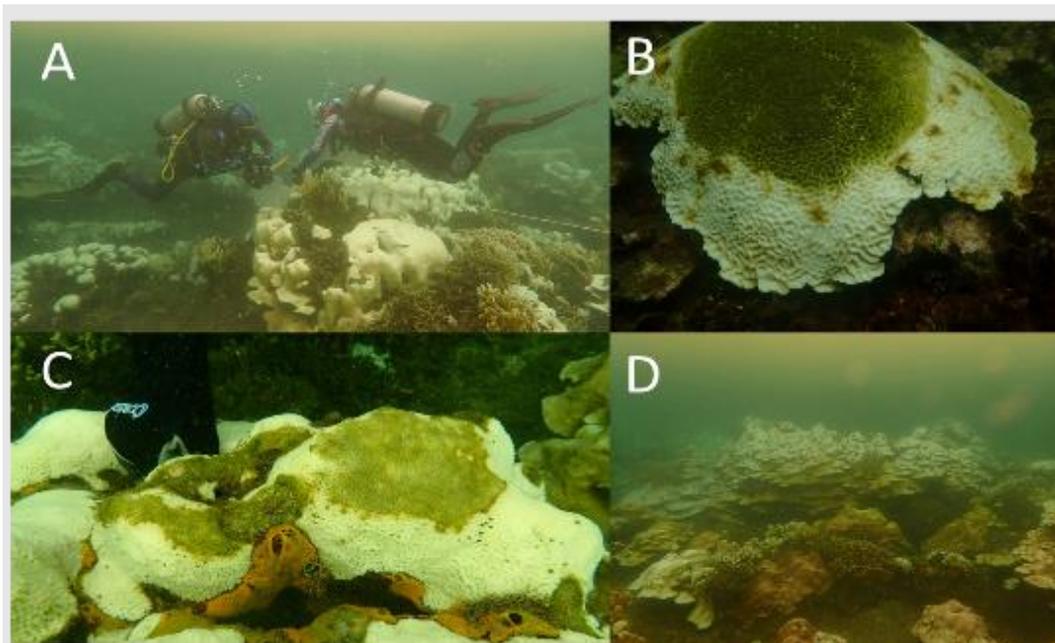


Figura 93. Imágenes del blanqueamiento en el arrecife de Varadero. A) investigadores montando un transecto de monitoreo en medio de colonias blanqueadas de *Orbicella annularis*, *Orbicella faveolata* y *Agaricia tenuifolia*.

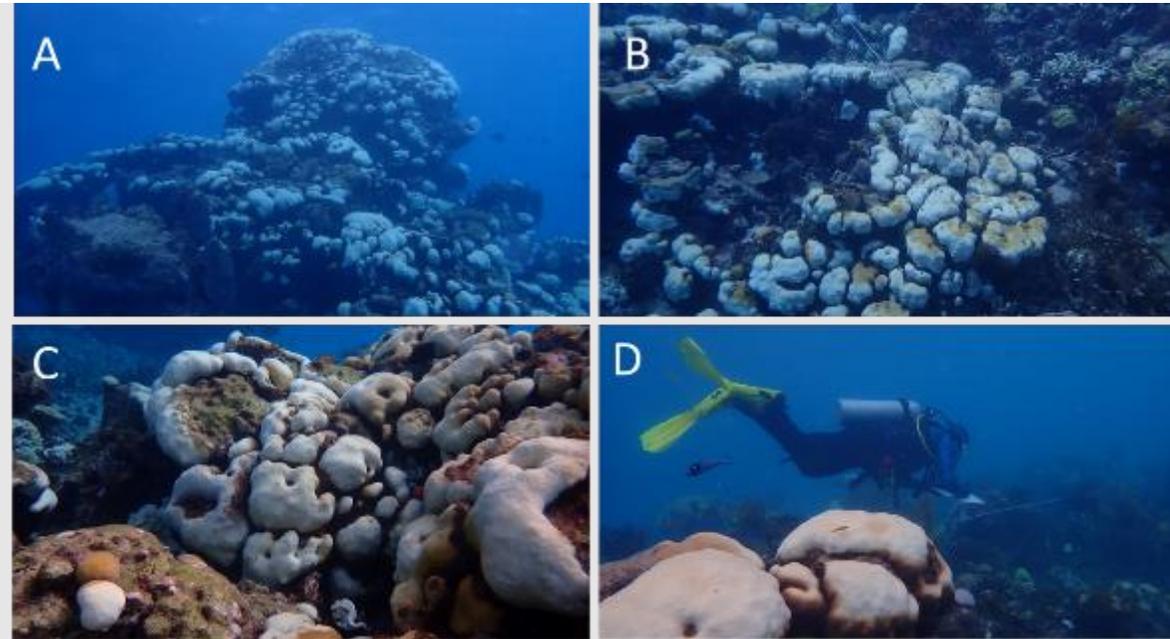


Figura 94. Aspecto del blanqueamiento en el PNN McBean Lagoon, en providencia. Fotos A, B y C colonias de *Orbicella annularis* blanqueadas; D) investigador sobre colonias blanqueadas de *Orbicella faveolata*. Estas dos especies son las más abundantes en el PNN y conformadoras de los arrecifes.

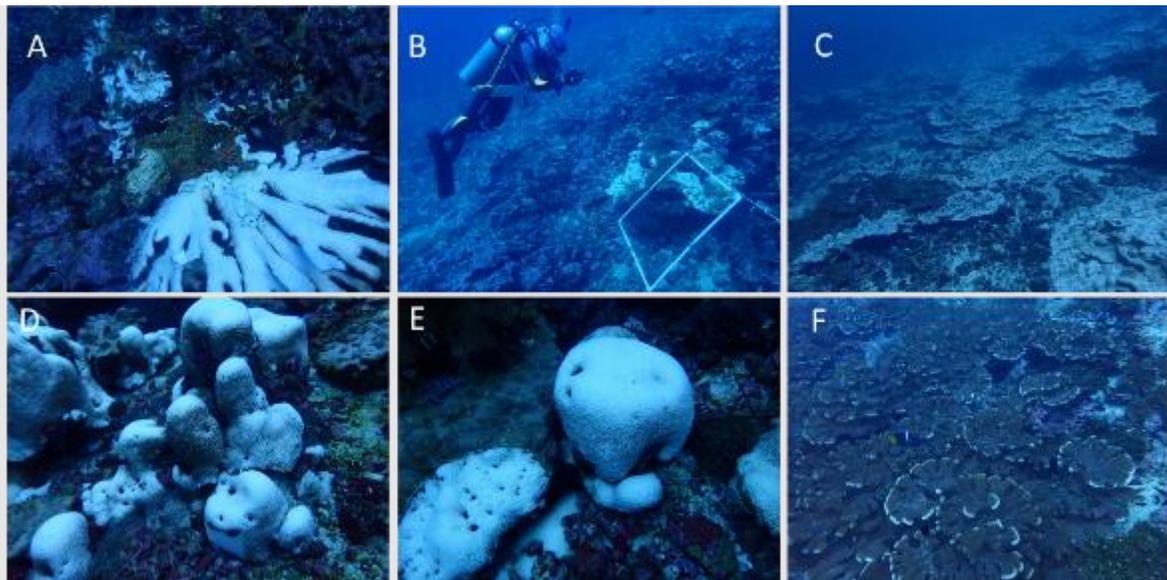


Figura 95. Imágenes del blanqueamiento en el SFF Malpelo. A) algunas de las pocas colonias de *Pocillopora eydouxi* afectadas por blanqueamiento; B) investigadora efectuando un registro fotográfico de colonias de *Porites lobata* blanqueadas; C) sector densamente poblado por colonias de *Porites lobata* blanqueadas; D) colonias de *Gardineroseris planulata* igualmente blanqueadas en 100%; E) colonias blanqueadas de *Gardineroseris planulata* junto a una colonia de *Porites lobata* sana y F) grupo denso de colonias de *Pocillopora eydouxi* totalmente sanas.

En el caso del Pacífico colombiano, se han reportado varios agentes de deterioro coralino similares a enfermedades (Navas-Camacho *et al.*, 2010). Algunos de ellos se siguen observando en los monitoreos, pero no ha sido posible hasta el momento realizar estudios determinantes del origen de dichos agentes de deterioro.

Finalmente, otro factor de deterioro para corales registrado durante el 2023 y que se ha venido presentando en años anteriores, directamente relacionado con la actividad humana fue observar colonias rotas o partidas por efecto de anclas (aplastamiento moderado o parcial) y/o pesca con dinamita (colonias partidas por la mitad, desplazadas y volteadas) (Figura 96). Estas prácticas son especialmente fuertes en ciertas localidades del Caribe continental y el efecto deletéreo es muy alto pues pulverizan y voltean grandes colonias de un mismo sector, generando que la totalidad de la colonia muera en un corto tiempo, además de los demás organismos que perecen por efecto de la onda expansiva y sónica.

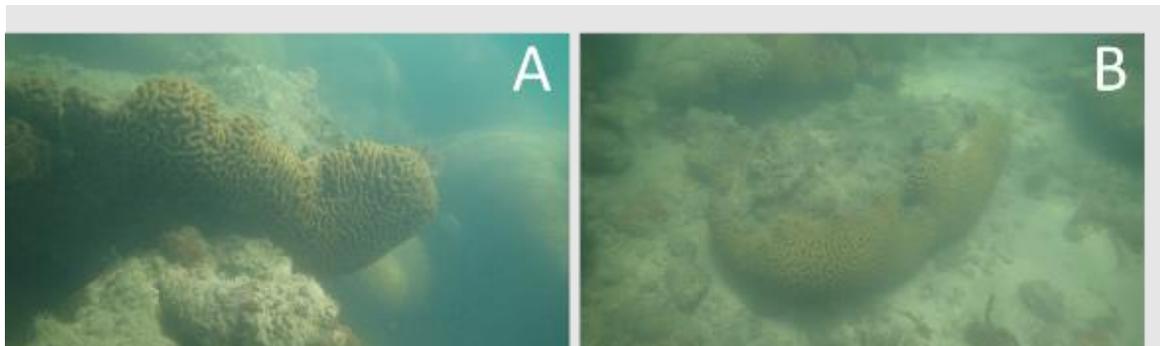


Figura 96. A. colonia afectada por el impacto de un taco de dinamita, partida por el medio y desplazada de su sitio de origen. B. colonia afectada por un ancla que la aplasta y mata parcialmente.

En lo referente a los pastos marinos, se ha identificado que la principal amenaza proviene de una enfermedad generada por un hongo marino del género *Labyrinthula* spp., que causa mortandades masivas al afectar directamente las hojas verdes de las plantas, tornándolas de marrón a negro. Este hongo estuvo vinculado con la mortalidad de aproximadamente el 90% de la población de *Zostera marina* en el norte de Estados Unidos y de *Thalassia testudinum* en Florida a finales de la década de 1980 (Robblee *et al.*, 1991). En el Caribe colombiano, se ha observado la presencia de este hongo afectando a las especies *T. testudinum* y *Syringodium filiforme* (ver Figura 97). Sin embargo, para el año 2023 se informó de un marcado descenso en su prevalencia, con un 0% de afectación registrado en las estaciones de monitoreo.



Figura 97. Foto Izq. Hojas de los pastos marinos *Thalassia testudinum* (hojas laminares gruesas) y *Syringodium filiforme* (hojas delgadas cilíndricas) afectadas por el hongo *Labyrinthula* spp que genera la mancha oscura hasta degradar toda la hoja. Fotografías del año 2022

Los manglares presentan enfermedades que se reconocen por las alteraciones morfológicas causada por microorganismos, condiciones ambientales adversas o los insectos (Rivera, 1999). Los

síntomas permiten visualizar la enfermedad y tienen un efecto en la estructura y procesos propios de los individuos y por tanto del bosque de manglar. Los insectos es uno de los componentes bióticos principales que contribuye en procesos de herbivoría, que se reconocen en herbivoría de hojas, perforadores y aquellos que se alimentan de las frutas y semillas (Canacci et al., 2008).

Entre las enfermedades que se encuentran reportadas en los manglares, se puede encontrar las asociadas al área maderable como el cáncer y la pudrición del tallo; mientras que para la zona foliar se reportan manchas en las hojas y la pérdida de hojas (Osorio et al., 2016). Así mismo, se han reportado una gran diversidad de hongos asociados, que se pueden adherir a diferentes sustratos como la corteza, las raíces, la madera flotante y los pneumatoforos (Lee y Hyde, 2002; Nambiar y Raveendran, 2009). Con el fin de contrarrestar la aparición de hongos, la especie *A. germinans* ha generado adaptaciones que permiten combatir la presencia del mismo, por medio de la secreción en las glándulas de sal, lo cual inhibe el crecimiento del hongo y por tanto la asociación del patógeno con la planta (Gilbert et al., 2002; Osorio et al., 2016).

En Colombia, Mira-Martínez et al. (2017) encontraron síntomas de agallas en parcelas ubicadas en el delta del río Atrato, asociadas a deformaciones en los tejidos vasculares y la corteza, cercana a estas zonas alteradas. En general, las enfermedades de los manglares se pueden asociar a la zona madreable, al área foliar y a causa de un agente causal. Dentro de los síntomas del área maderable se encuentran las agallas o cancer, descortezamiento, exudaciones, manchas blancas y raíces adventicias anormales (Figura 98a y b). Del área foliar se pueden encontrar la clorosis, defoliación, herbivoría, hojas perforadas, hojas con manchas necróticas perforadas, hojas quemadas, hojas marchitas y con manchas necróticas (Figura 98c-e). Por último, se pueden encontrar hongos, bejucos o enredaderas, hormigas y termitas las que son ocasionadas por un agente causal (Figura 97g y h).

De manera particular y puntual, durante el 2023 se evidenciaron los síntomas/signos que se encuentran en la Figura 99 para San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Herbivoría y hojas perforadas fueron los síntomas con mayores porcentajes (superiores al 75%) y la especie que mas afectada fue *Laguncularia racemosa*. Las manchas necróticas presentaron un 63% y las hormigas 37%, en donde *L. racemosa* presentó una mayor proporción de síntomas, seguido por *Rhizophora mangle*. Por otro lado, los síntomas/signos descortezamiento, exudaciones, manchas blancas, clorosis, defoliación y marchitamiento presentaron porcentajes inferiores al 30% y por tanto fueron los que menor incidencia tuvieron en el bosque de manglar.

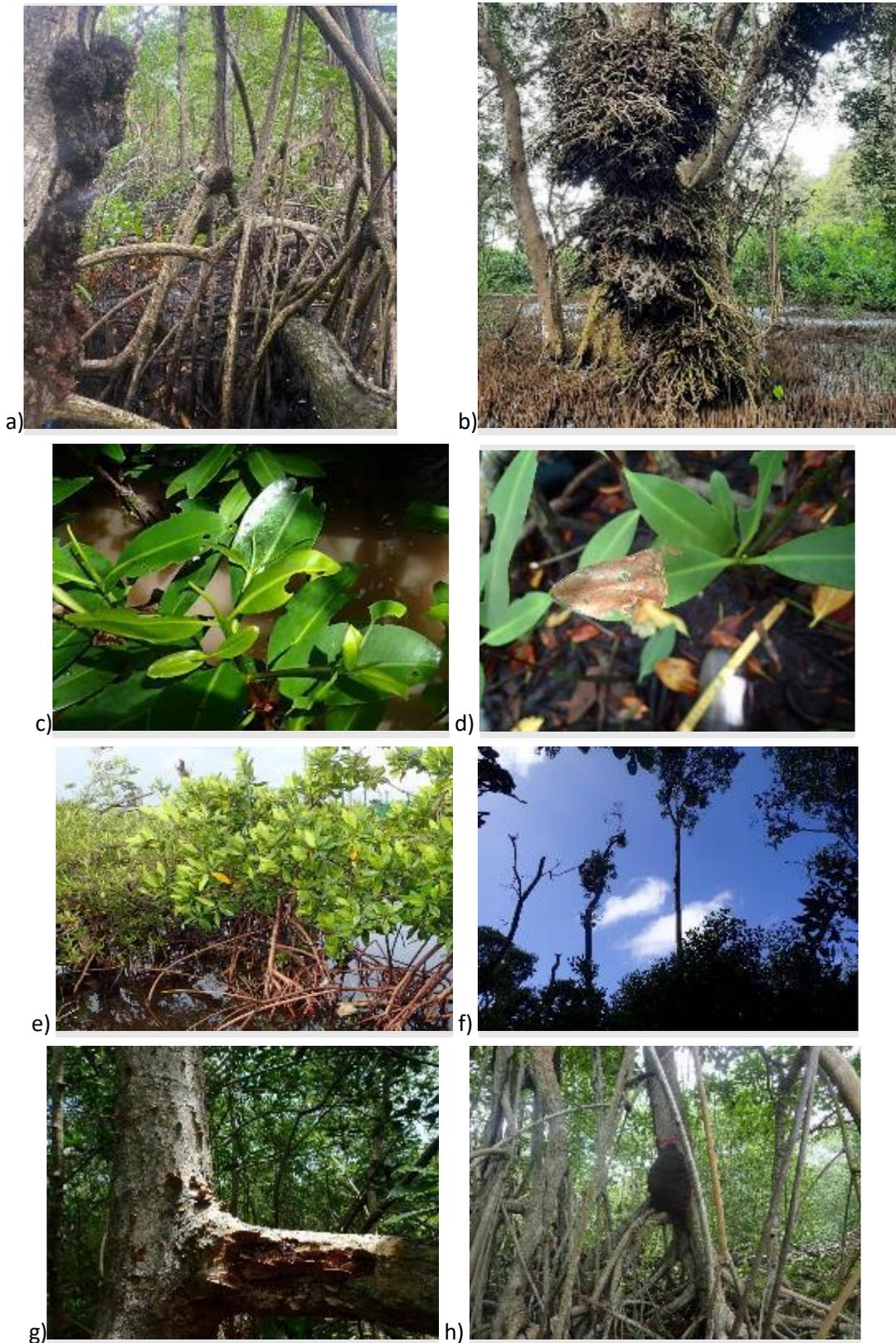


Figura 98. Sintomas, signos y agentes causales en los bosques de manglar para el área maderable a) Agallas/Cancer; b) raíces adventicias anormales; el área foliar c) Herbívoría; d) Mancha necrótica; e) Clorosis; f) Defoliación; y por agentes causales g) hongos; h) Termitas

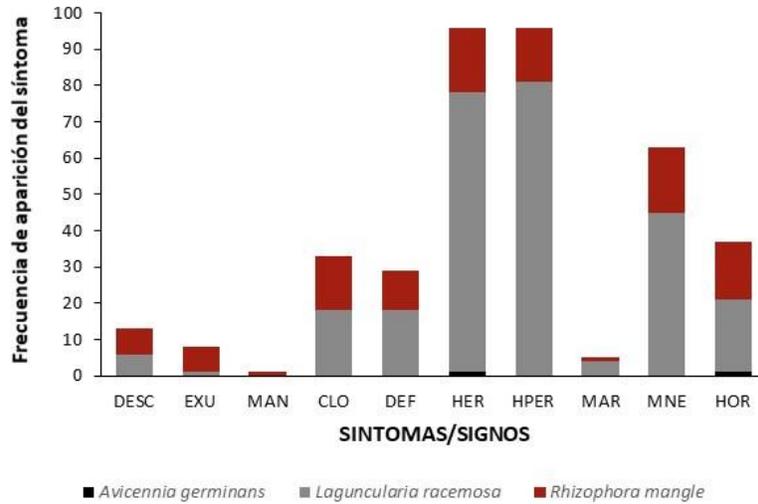


Figura 99. Síntomas y signos del bosque de manglar en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina para el año 2023. DESC: Descortezamiento; EXU: Exudaciones; MAN: Manchas blancas; CLO: Clorosis; DEF: Defoliación; Her: Herbivoría; HPER: Hojas perforadas; MAR: Marchitamiento; MNE: Manchas Necroticas; MAR: Marchitamiento; MNE: Manchas Necroticas; HOR: Hormigas.

### Pérdida de hábitat

Los cambios extremos de mareas (Figura 100) son más prominentes en la región del Pacífico debido a la dinámica inherente de las mareas en esa área. En arrecifes coralinos de poca profundidad, como los de la isla de Gorgona y la ensenada de Utría, estos cambios pueden exponerse a altas radiaciones solares durante mareas extremadamente bajas durante el día, e incluso en casos extremos, pueden quedar completamente expuestos sobre la superficie. El tiempo y la intensidad de la exposición a la radiación solar, así como la influencia del agua dulce y la intensidad de la marea durante esta exposición, afectarán la capacidad de recuperación real. En el año 2023 se volvió a presentar este fenómeno en las áreas del PNN Utría y PNN Gorgona (Pacífico colombiano), lo que resultó en una disminución del tejido vivo en los corales y, como consecuencia, un aumento en la proliferación de algas que han sido reportados en los indicadores de estado en este documento.



Figura 100. Destapamiento de un amplio sector del arrecife de La Chola, en el PNN Utría, Pacífico colombiano, debido a mareas extremas o pujas astronómicas durante febrero del 2023.

## Causas y tensores indirectos

### Cambio climático

En Colombia, se estima que los efectos del cambio climático se verán reflejados en un mayor aumento del nivel del mar y con ello incremento de los procesos erosivos, aumentos en la temperatura que incrementarán las sequías y causarán reducciones en la productividad agropecuaria y mayor frecuencia en la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos, agravando los efectos de fenómenos de variabilidad climática como son El Niño o La Niña. Todo lo anterior, podría causar grandes impactos sobre seguridad alimentaria, biodiversidad y hábitat humano en las zonas costeras (IDEAM *et al.*, 2015).

Bajo este contexto, el INVEMAR continúa trabajando en la generación de estudios e identificación de estrategias encaminadas a levantar información para mejorar la capacidad de decisión en cualquiera de los temas relacionados con la vulnerabilidad, la mitigación, y la adaptación al cambio climático para la zona marino-costera e insular del país. Para el tema de **vulnerabilidad**, desde hace más de 20 años ha venido generando información que ha permitido clasificar la zona costera colombiana con una alta vulnerabilidad frente al aumento del Nivel del Mar (ANM) y erosión costera. A nivel subnacional, se ha bajado a escala 1:50.000 y 1:25:000 los análisis de vulnerabilidad por Ascenso en el Nivel Medio del Mar (ANM) en seis (6) municipios costeros del Caribe y tres (3) municipios del Pacífico y se ha construido participativamente lineamientos para la adaptación. Los resultados tanto de los análisis de escala nacional como subnacional se encuentran disponibles en <http://climares.invemar.org.co/ascenso-del-nivel-del-mar>.

En materia de **mitigación**, se viene avanzando en el levantamiento de línea base de existencias de carbono azul para los ecosistemas de manglares de siete (7) departamentos del Caribe (Córdoba, Sucre, Atlántico, Guajira, Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Bolívar y Antioquia) y un (1) departamento del Pacífico colombiano (Valle del Cauca). Así mismo, para pastos marinos se han adelantado las primeras estimaciones de carbono azul en los departamentos de La Guajira y el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Figura 101). Estas mediciones han permitido incidir en las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC siglas en inglés), aportando a los compromisos frente a la conservación y el manejo de los manglares y pastos marinos como ecosistemas estratégicos. Los resultados de las estimaciones se describen en: [Potencial de Carbono Azul en Colombia](#).



Figura 101. Recolección de información biofísica para la cuantificación de carbono en manglares (A) y pastos marinos (B). Fuente: Archivo fotográfico del INVEMAR.

Toda la experiencia adquirida ha permitido que Colombia cuente con el primer proyecto carbono azul, denominado “**Vida Manglar**” certificado por el estándar internacional VERRA y con bonos emitidos y vendidos. El proyecto se viene adelantando en alianza estratégica entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Sinú y San Jorge (CVS), la Corporación Autónoma Regional de Sucre (CARSUCRE), el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), Conservación Internacional, la Fundación Omacha y las comunidades locales; tiene proyectado una duración de 30 años y busca reducir 939.296 tCO<sub>2</sub>e al año 2045, incentivando la conservación de más de 9.000 ha de manglar, a través de la participación comunitaria y generando beneficios económicos, sociales y ambientales de largo plazo. El proyecto en entre 2015 y 2018 logró la reducción neta de 68.932 tCO<sub>2</sub>e y aportó en la restauración de más de 150 ha, mejorando los medios de vida y promoviendo la adaptación al cambio climático en más de 400 familias de mangleros, agricultores, apicultores y prestadores de servicios ecoturísticos del golfo de Morrosquillo.



Figura 102. Equipo Vida Manglar. Fuente: Archivo fotográfico de Vida Manglar.

Los avances en las diferentes investigaciones ha conllevado a que el país avance en el cumplimiento de instrumentos normativos, como la Ley 2169 de 2021 para la acción climática, la cual establece en el título III, artículo 13, numeral # 6 que los institutos de investigación adscritos y vinculados al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible coordinarán el cálculo del potencial de mitigación de GEI de los ecosistemas de manglares y pastos marinos y la contabilidad de las correspondientes emisiones de carbono reducidas o absorbidas a nivel nacional. Así mismo, los diferentes resultados se han constituido en las bases técnicas para generar condiciones habilitantes para el desarrollo de iniciativas carbono azul en Colombia, en consonancia con los compromisos establecidos en la NDC sector ambiente, componente manglares, normatividad vigente (Ley 2243 de 2022 y Resolución 2724 de 2017), prioridades del Plan Nacional de Desarrollo (PND) y lineamientos de planeación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En el tema de **adaptación**, se ha ido avanzando en el desarrollo conceptual, metodológico y en la identificación de acciones de adaptación basada en ecosistemas (AbE) para reducir la vulnerabilidad al cambio climático en los sitios priorizados y evaluados. La experiencia adquirida por el INVEMAR en las diferentes investigaciones desarrolladas ha permitido generar los lineamientos y la hoja de

ruta para incorporar los temas de cambio climático en los procesos de formulación de los planes de ordenamiento y manejo integrado de las unidades ambientales costeras (POMIUAC), siendo estos los instrumentos que definen y orientan la planificación marina y costera, facilitando la gestión del cambio climático en estas áreas. Se plantearon seis (6) lineamientos a aplicar de manera transversal a la planificación e implementación de iniciativas AbE dentro de los POMIUAC: i) Servicios ecosistémicos y co-beneficios; ii) Gobernanza para la AbE frente al cambio climático; iii) Insumos científicos para la planeación de la AbE; iv) Mecanismos financieros; v) Educación y divulgación del conocimiento; vi) Monitoreo, verificación y seguimiento (INVEMAR, 2022d). Este proceso responde a lo establecido en la Ley 2169 de 2021 artículo 6, numeral 7, que ordena: *“Adoptar e implementar a 2030, el cien por ciento (100%) de los Planes de Ordenación y Manejo Integrado de las Unidades Ambientales Costeras (POMIUAC) con acciones de adaptación basada en ecosistemas sobre manglar y pastos marinos, arrecifes coralinos, y otros ecosistemas costeros”*.

Dentro de las acciones de fortalecimiento institucional, educación, divulgación y socialización, se continua con la interacción interinstitucional con la Red de Centros de Investigación Marina, que desde el año 2009 tiene como principal foco de estudio temáticas relacionadas con el cambio climático global, y la cual se presenta como una estrategia de adaptación efectiva tendiente a la reducción de la incertidumbre asociada y con aplicación directa en las zonas marinas y costeras del país. También, se mantiene el accionar en el marco de los comités intersectoriales y nodos regionales establecidos por el Decreto 298 de 2016 que reglamenta el Sistema Nacional de Cambio Climático SISCLIMA, a través de la participación en reuniones y comités para el fortalecimiento de capacidades. Durante el año 2022 se participó en los diferentes encuentros de los Nodos Regional de Cambio Climático Caribe e Insular NORECCI y Pacífico Sur con el fin de abordar las discusiones de los planes, programas, proyectos y políticas relacionadas con la gestión del cambio climático.

Como instrumento de comunicación y difusión de información para soporte en la toma de decisiones se continúa dando soporte al Portal de Cambio Climático para Mares y Costas Climares, disponible para consulta, el cual se enlaza con el Sistema de Información Ambiental SIAC. Esta plataforma contiene información de más de 20 años de trabajo relacionada con la vulnerabilidad, adaptación, mitigación y servicios de información como temáticas centrales para comprender la realidad de las zonas costeras del país frente al cambio climático. El portal se encuentra disponible en la dirección web <http://climares.invemar.org.co>.

# LITERATURA CITADA

- Accoroni, S., T. Romagnoli, S. Pichierri y T. Totti. 2016. Effects of the bloom of harmful benthic dinoflagellate *Ostreopsis cf. ovata* on the microphytobenthos community in the northern Adriatic Sea. *Harmful Algae* 55: 179-190.
- Acosta, E. P. 2012. Caracterización espacial y temporal de la estructura de la comunidad fitoplanctónica y su correlación con algunas variables ambientales locales en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 134 p.
- Acosta-Chaparro, A., C. E. Gómez, R. Navas-Camacho, S. Millán-Cortés, A. Abril-Howard, P. Montoya-Maya, V. Posada, A. Alegría-Ortega y A. Caicedo González. 2021. Evaluación del estado de los arrecifes coralinos en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina posterior al paso del huracán Iota en el marco de la operación cangrejo negro Fase II. INVEMAR-CORALINA. Santa Marta, 47 p.
- Acosta-Coley, I., Duran-Izquierdo, M., Rodríguez-Cavallom E., Mercado-Camargo, J., Mendez-Cuadro, D., Olivero-Verbel, J. 2019. Quantification of microplastics along the Caribbean Coastline of Colombia: pollution profile and biological effects on *Caenorhabditis elegans*. *Marine Pollution Bulletin*, 146:574–583. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.084>
- Adame, M. F., J. B. Kauffman, I. Medina, J. N. Gamboa, O. Torres, J. P. Caamal, M. Reza y J. A. Herrera-Silveira. 2013. Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the Mexican Caribbean. *PLoS ONE* 8(2): e56569. doi:10.1371/journal.pone.0056569.
- Agardy, M. 1994. Advances in marine conservation: the role of marine protected areas. *Trends in Ecology & Evolution*, 9(7), 267-270.
- Alongi, D. M. 2009. The energetics of mangrove forests. Springer Netherlands. 215 p.
- Alongi, D. M. 2012. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, 3(3): 313-322.
- Alonso, D., H. Barbosa, M. Duque, I. Gil, M. Morales, S. Navarrete, M. Nieto, A. Ramírez, G. Sanclemente y J. Vásquez. 2015. Conceptualización del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas en Colombia. Documento de Trabajo (Versión 1.0). Proyecto COL75241 Diseño e implementación de un Subsistema Nacional de Áreas Marinas Protegidas (SAMP) en Colombia. Invemar, MADS, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No 80, Santa Marta. 80 p.
- Alva-Basurto, J. y J. Arias-González, J. 2015. Arrecifes de coral, servicios ecosistémicos y cambio climático. *La Jornada Ecológica*, 199, 5-6.
- Álvarez, R. 1997. Primer caso de ciguatera en el Caribe colombiano por *Soriola zonata* (Mitchill, 1815) (Pisces: Carangidae). *Biomédica*, 17: 67-68.
- Alvarez-Filip, L., N. Estrada-Saldívar, E. Pérez-Cervantes, A. Molina-Hernández and F. J. GonzálezBarrios. 2019. A rapid spread of the stony coral tissue loss disease outbreak in the Mexican Caribbean. *PeerJ* 7: e8069. doi: 10.7717/peerj.8069
- Álvarez-León, R., E. Carbonó-De la Hoz, W. A. Troncoso-Olivo, O. Casas-Monroy y P. Reyes-Forero. 2004. La vegetación Terrestre, Eurihalina y dulceacuicola de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta. 77-96. En: Garay, J., J. Restrepo, O. Casas, O. Solano y F. Newmark(eds.). 2004. Los manglares de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta: pasado, presente y futuro. INVEMAR –serie de publicaciones especiales No. 11. Santa Marta. 236 p.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), Rome, 300(9).
- An, T., Winshell, J., Scorzetti, G., Fell, J. W. & Rein, K. R. 2010. Identification of okadaic production in the marine dinoflagellate *Prorocentrum rhathymum* from Florida Bay. *Toxicon*, 55:563-657.
- Andrade, C. A. 2001. Las corrientes superficiales en la cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 25(96), 321336.
- Andrade, C. A. 2015. Oceanografía dinámica de la cuenca de Colombia. Cartagena de indias: Alpha Editores. ISBN: 978-958-99964-7-8.
- Ardila, N. J. M., Rodríguez, O. J., & Robertson, K. (2005). Amenazas naturales en el litoral Pacífico colombiano asociadas al ascenso del nivel del mar. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, (14), 83-96.
- Aqualabo. 2015. ODEON® Advanced Digital Meter - Reliability, simplicity and flexibility. 1–4. [www.aqualabo.fr](http://www.aqualabo.fr)
- Avendaño, J., A. Rodríguez y I. Gómez. 2019. Servicios ecosistémicos marinos y costeros de Colombia. Énfasis en manglares y pastos marinos. MAPCO. Santa Marta. 33 p.
- Banco de la República – Banrep. 2017. Evolución socioeconómica de la región Caribe colombiana entre 1997 y 2017. Documentos de Trabajo sobre Economía Regional y Urbana. Cartagena. 79 p.
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C. & Silliman, B.R. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81, 169–193.
- Barrientos, N. S., & Mosquera, W. A. 2019. Modulación a la circulación oceánica en el golfo de Urabá por la ocurrencia de eventos atmosféricos de baja y alta frecuencia. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Turbo. Tomado de <https://hdl.handle.net/10495/17039>

- Batra, B., Sharma, D., Bose, D., Parthasarthy, V., Sarkar, A. 2023. Chapter 3 - Implications of bioprospecting marine diversity and sustainable production of bioactive compounds, in: Kim, S.-K., Shin, K.-H., Venkatesan, J. (Eds.), *Marine Antioxidants*. Academic Press, pp. 27–43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95086-2.00013-8>
- Beck, M.W., Heck, K.L., Able, K.W., Childers, D.L., Eggleston, D.B., Gillanders, B.M. et al. 2001. The Identification, conservation, and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates A better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas. *Bioscience*, 51, 633–641.
- Beeden, R., Maynard, J., Puotinen, M., Marshall, P., Dryden, J., Goldberg, J., & Williams, G. 2015. Impacts and recovery from severe tropical cyclone Yasi on the Great Barrier Reef. *PLoS one*, 10(4), e0121272.
- Beentje, H., S. O. Bandeira, J. Williamson, J. Moat, R. Frith y K. Royal. 2007. *Field guide to the mangrove trees of Africa and Madagascar*. Royal Botanic Gardens, Kew. 91 p.
- Björk, M., F. Short, E. Mcleod & S. Beer. 2008. Managing seagrasses for resilience to climate change (No. 3). *lucn*.
- Blanco-Libreros, J. F. y K. Ramírez-Ruiz. 2021. Threatened mangroves in the anthropocene: Habitat fragmentation in urban coastalscapes of *Pelliciera* spp. (Tetrameristaceae) in northern South America. *Frontiers in Marine Science*, 8: 1-15 (Article 670354). DOI: 10.3389/fmars.2021.670354
- Blanco-Libreros, J. F., E. A. Estrada-Urrea, R. J. Perez-Montalvo, et al. 2015. Anthropogenic influences on the landscape of *Pelliciera rhizophorae* (F. Tetrameristaceae) southern-most Caribbean population (Turbo City, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 63(4): 927-942.
- Blanco, J.A., Viloría, E.A. and Narváez, B. 2006. ENSO and salinity changes in the Ciénaga Grande de Santa Marta coastal lagoon system, Colombian Caribbean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66(1-2), 157-167
- Bode, G. 1973. Carbon and carbonate analyses, leg 15. En: Terence Edgar, N. (Ed.), *Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project*, vol. 15. U.S. Government Printing Office, Washington, pp. 1129.
- Borbón M. E. 2015. Asociación entre la temperatura ambiental y temperatura superficial del mar sobre la aparición de casos de ciguatera en los departamentos de San Andrés y Providencia. Tesis Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Bouillon, S., Borges, A.V., Castaneda-Moya, E., Diele, K., Dittmar, T., Duke, N.C. et al. 2008. Mangrove production and carbon sinks: a revision of global budget estimates. *Global Biogeochemical Cycles*, 22.
- Brandt, M. E y J.W. McManus. 2009. Dynamics and impact of the coral disease White plague: insights from a simulation model. *Dis. Aquat. Org.* Vol. 87: 117-133.
- Brankart, J. M., Candille, G., Garnier, F., Calone, C., Melet, A., Bouttier, P. A., ... & Verron, J. 2015. A generic approach to explicit simulation of uncertainty in the NEMO ocean model. *Geoscientific Model Development*, 8(5), 1285-1297.
- Brown, E., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., & Wright, J. 2001. *Ocean Circulation* second edition. Butterworth-Heinemann: Elsevier Ltd
- Bruña, J. G., Carbo-Gorosabel, A., Estrada, P. L., Muñoz-Martín, A., Ten Brink, U. S., Ballesteros, M. G. Y Pazos, A. 2014. Morphostructure at the junction between the Beata ridge and the Greater Antilles island arc (offshore Hispaniola southern slope). *Tectonophysics*, 618. 138-163 p.
- Burke, L., K. Reynter, M. Spalding and A. Perry. 2011. *Reef at Risk revisited*. Washington D. C.: WorldResources Institute. The Nature Conservancy (TNC), the World Fish Center, the International Coral Reef Action Network (ICRAN), the United Nations Environment Programme – World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC), and the Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN). Washington, D.C. 130 p.
- Burkhard, B. y J. Maes. (Eds.). 2017. *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers, Sofia, Bulgaria.
- Cadavid, B.C., P.A. Bautista, L.F. Espinosa, A.J. Hoyos, A.M. Malagón, D. Mármol, A.M. Orjuela, J.P. Parra, L.V. Perdomo, M. Rueda, C.A. Villamil y E.A. Viloría. 2011. Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. INVEMAR. Informe Técnico Final. Santa Marta 127 p.+ anexos.
- Caicedo-Laurido, A. L.; Muñoz-Ordóñez, C. C.; Iriarte-Sánchez, J. D.; Gutiérrez-Moreno, M. A.; Rojas-Bedoya, E. J.; Quintero-Paz, K. D. 2020. Capítulo III – Aproximación a la variabilidad estacional e interanual de las condiciones oceanográficas en la Cuenca Pacífica Colombiana. En *Compilación Oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana II*. (Pp. 100-133). Dirección General Marítima. Bogotá, D. C. Editorial Dimar.
- Caillaud, A., de la Iglesia, P., Campas, M., Elandaloussi, L., Fernández, M., Mohammad-Noor, N., Andree, K. & Diogene, J. 2010. Evidence of okadaic acid production in a cultured strain of the marine dinoflagellate *Prorocentrum rhathymum* from Malaysia. *Toxicon*, 55:633-637.
- Cairns, S.D. 1999. Species richness of recent Scleractinia. *Atoll Research Bulletin*, 459: 1–12
- Calderón-Sáenz E. 1982. Hallazgo de *Pelliciera rhizophorae* Triana & Planchon (Theaceae) en la costa del Atlántico, con observaciones taxonómicas y biogeográficas preliminares. *Acta Biologica Colombiana*, 1: 99-110.
- Calderón-Sáenz E. 1983. Hallazgo de *Pelliciera rhizophorae* Triana & Planchon (Theaceae) en la costa del Atlántico, con observaciones taxonómicas y biogeográficas preliminares. *Boletín, Museo del Mar, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano*, 11: 100-111.

- Calderón-Sáenz, E. 1984. Occurrence of the mangrove *Pelluciera rhizophorae* Triana & Planchon, on the Caribbean coast of Colombia with biogeographical notes. *Bull. Mar. Sci.*, 35: 105-110.
- Cannicci, S., Burrows, D., Fratini, S., Smith III, T.J., Offenberg, J., Dahdouh y Guebas, F. 2008. Faunistic impact on vegetation structure and ecosystem function in mangrove forests: A review. *Aquat. Bot.* 89, 186–200.
- CARDIQUE, CARSUCRE, CODECHOCO, CORALINA, CORPAMAG, CORPOGUAJIRA, CORPONARIÑO, CORPOURABA, CRA, CRC, CVC, CVS, INVEMAR, MADS, PNN. 2016. Plan de Acción del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas - SAMP 2016-2023: Lineamientos para su consolidación en el marco de los Subsistemas Regionales de Áreas Protegidas del Pacífico y del Caribe. Editado por: A. P. Zamora-Bornachera. Proyecto COL75241, PIMS #3997, Diseño e implementación de un Subsistema Nacional de Áreas Marinas Protegidas (SAMP) en Colombia. Invemar, MADS, GEF y PNUD. Serie de publicaciones Generales del Invemar # 85, Santa Marta. 60 p.
- Carella, F., A., Mangoni, O., DiCioccio, D., Urciuolo, G., De Vico, G., Zingone, A., 2015. Quantitative histopathology of the Mediterranean mussel (*Mytilus Galloprovincialis*) exposed to the harmful dinoflagellate *Ostreopsis cf. ovata*. *J. Invertebr. Pathol.* 127. 130-140.
- Carreño, L. A., y E. Mera. 2008. Intoxicación alimentaria, Informe Colombia. En: Mancera-Pineda J. E. (Ed.). IOC Regional Science Planning Workshop on Harmful Algal Blooms in IOCARIBE ANCA IV. San Andrés Isla, Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe, 81 pp.
- Carvajal-Arenas, L. C., Torrado, L., Mann, P., Y English, J. 2020. Basin modeling of Late Cretaceous/Mio-Pliocene (.) petroleum system of the deep-water eastern Colombian Basin and South Caribbean Deformed Belt. *Marine and Petroleum Geology*, 121, 104511.
- Case, J.E., Macdonald, W.D. y Fox, P.J. 1990. Caribbean crustal provinces; seismic and gravity evidence. In: Dengo, G., Case, J.E. (Eds.). *The Geology of North America. The Caribbean Region*, H. Geol. Soc. Am. Boulder, Colorado. 15–36 pp.
- Castaña-Isaza, J., Newball, R., Roach, B., y Lau, W. W. 2015. Valuing beaches to develop payment for ecosystem services schemes in Colombia's Seaflower marine protected area. *Ecosystem Services*, 11: 22-31.
- Castelle, B., Marieu, V., Bujan, S., Splinter, K.D., Robinet, A., Sénéchal, N., Ferreira, S. (2015). Impact of the winter 2013–2014 series of severe western europe storms on a double-barred sandy coast: Beach and dune erosion and megacusp embayments. *Geomorphology* 238, 135–148.
- Castillo-Cárdenas, M. F., F. Díaz-González, I. Ceron-Souza, et al. 2015. Jumping a geographic barrier: diversification of the mangrove species *Pelluciera rhizophorae* (Tetrameristaceae) across the Central American Isthmus. *Tree Genet Genomes*, 11: 61.
- Castillo-Viana. M.J., T. Córdoba-Meza, P. Obando-Madera y L.J. Vivas-Aguas. 2022. Metodología de la operación estadística índice de calidad de aguas marinas y costeras – ICAM. Versión 3. Santa Marta. 90 p.
- CCCP. (2002). *Compilación Oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana*. Centro Control Contaminación del Pacífico-Dirección General Marítima. Ed. Dimar. Tumaco, Colombia.
- CCO, 2017. *Política nacional del océano y de los espacios costeros (PNOEC)*. Comisión Colombiana del Océano, Bogotá, Colombia.
- CCO, 2022. *Decenio de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible 2021-2030* [WWW Document]. URL <https://cco.gov.co/decenio-de-las-ciencias-oceanicas-para-el-desarrollo-sostenible-2021-2030.html> (accessed 1.1.23).
- Celis, J. S. y J. E. Mancera-Pineda. 2015. Análisis histórico de la incidencia de ciguatera en las islas del Caribe durante 31 años: 1980 – 2010. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 44: 7-32.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2011. *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: Dinámicas, tendencias y variabilidad climática*. Naciones Unidas, Gobierno de España e IH Cantabria. 265 p.
- Chassignet, E. P., Hurlburt, H. E., Smedstad, O. M., Halliwell, G. R., Hogan, P. J., Wallcraft, A. J., ... & Bleck, R. (2007). The HYCOM (hybrid coordinate ocean model) data assimilative system. *Journal of Marine Systems*, 65(1-4), 60-83.
- Chmura, G. L., S. C. Anisfield, D. C. Cahoon y J. C. Lynch. 2003. Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(4), p. 1111.
- Ciminiello, P., C. Dell'Aversano, E. Dellolacovo, E. Fattorusso, M. Forino, L. Tartaglione, G. Benedettini, M. Onorari, F. Serena, C. Battocchi, S. Casaviana y A. Penna. 2014. First finding of *Ostreopsis cf. ovata* toxins in marine aerosols. *Environ. Sci. Technol.* 48(6): 3532-3540.
- Ciminiello, P., C. Dell'Aversano, E. Dellolacovo, E. Fattorusso, M. Forino, L. Tartaglione, G. Benedettini, M. Onorari, F. Serena, C. Battocchi, S. Casaviana y A. Penna. 2014. First finding of *Ostreopsis cf. ovata* toxins in marine aerosols. *Environ. Sci. Technol.* 48(6): 3532-3540.
- Ciminiello, P., Dell'Aversano, C., Fattorusso, E., Forino, M., Tartaglione, L., Grillo, C., et al., 2008. LC-MS/MS and HRMS/MS data demonstrated the presence of putative palytoxin and the novel ovatoxin-a in plankton collected during the Ligurian 2006 toxic outbreak. *J. Am. Soc. Mass Spectrom.* 19, 111-120. doi:10.1021/ac060250j
- Ciminiello, P., Dell'Aversano, C., Fattorusso, E., Forino, M., Tartaglione, L., Grillo, C., et al., 2008. LC-MS/MS and HRMS/MS data demonstrated the presence of putative palytoxin and the novel ovatoxin-a in plankton collected during the Ligurian 2006 toxic outbreak. *J. Am. Soc. Mass Spectrom.* 19, 111-120. doi:10.1021/ac060250j
- Coca-Domínguez, O., & Ricaurte-Villota, C. (2022). Regional Patterns of Coastal Erosion and Sedimentation Derived from Spatial Autocorrelation Analysis: Pacific and Colombian Caribbean. *Coasts*, 2(3), 125-151.

- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. 2016. Nature-based solutions to address global societal challenges. IUCN: Gland, Switzerland, 97, 2016-2036.
- Comba González, N.B., Corredor Niño, A.N., López Kleine, L., Montoya Castaño, D. (2021). Temporal Changes of the Epiphytic Bacteria Community From the Marine Macroalga *Ulva lactuca* ( Santa Marta , Colombian - Caribbean ). *Curr. Microbiol.* 78, 534–543. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-02302-x>
- Conferencia da Yakarta. 1995. Conferencia de las partes en el convenio sobre la diversidad biológica. Segunda reunión Yakarta, 6 a 17 de noviembre de 1995
- Congreso de la Republica de Colombia. 2011. Ley No. 1450 de 2011. “Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014”. Bogotá, D.C. 90 p.
- CONPES. 2011. Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad. No. 3697. 36 p.
- Correa-Ramirez, M., Rodríguez-Santana, Á., Ricaurte-Villota, C., & Paramo, J. 2020. The Southern Caribbean upwelling system off Colombia: Water masses and mixing processes. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 155, 103145.
- Correa, I. y Morton, R. (2010). 3.3 Pacific Coast of Colombia. *Encyclopedia of the world's coastal landforms*. 193-198. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7>
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg K.E., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P.C. y Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological economics*, 25(1), 3-15.
- Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., ... Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>.
- Cronberg, G., y H. Annodotter. 2006. Manual on aquatic cyanobacteria: A photo guide and synopsis of their toxicology. Denmark International Society for the Study of Harmful Algae and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 105p.
- Cronberg, G., y H. Annodotter. 2006. Manual on aquatic cyanobacteria: A photo guide and synopsis of their toxicology. Denmark International Society for the Study of Harmful Algae and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 105p.
- Croquer A. and E. Weil. 2009. Changes in Caribbean coral disease prevalence after the 2005 bleaching event. *Dis Aquat Org.* 87: 33–43
- Cullen-Unsworth, L. & Unsworth, R. 2013. Seagrass meadows, ecosystem services, and sustainability. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 55, 14–28.
- Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible Johannesburgo (Sudáfrica), 26 de agosto a 4 de septiembre de 2002. Publicación de las Naciones Unidas Número de venta: S.03.II.A.1 ISBN 92-1-304231-0
- DANE - Censo Nacional de Población y Vivienda CNPV 2018a. Información correspondiente a personas residentes en hogares particulares. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co/censo/>
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2018b. Proyecciones de población. Recuperado marzo de 2023 de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticaspor-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2019. Cuentas nacionales departamentales: PIB por departamento. Recuperado el 10 de febrero de 2020 de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales>.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2021. Cuentas nacionales departamentales: PIB por departamento. Recuperado marzo de 2023 de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentasnacionales-departamentales>
- Daza, C., Rodríguez, -Rodríguez, A; Dussan, M, 2020. Monitoreo del piloto de restauración activa del manglar en el sector noroeste de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM). Informe Técnico Final. Convenio 503 de 2019. CORPAMAG- INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 38 p + Anexos.
- Day Jr, J.W., Kemp, W.M., Yáñez-Arancibia, A., and Crump, B.C. (Eds.). 2012. Estuarine ecology. John Wiley & Sons. New York. p. 558.
- De Groot, R.S., Brander, L., Van Der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodríguez, L.C., ten Brink, P, van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystems services* 1 (1): 50-61.
- De Groot, R.S., M.A.M. Stuij, C.M. Finlayson y N. Davidson. (2007). Valoración de humedales: Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales, Informe Técnico de Ramsar núm. 3/núm. 27 de la serie de publicaciones técnicas del CDB. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza), y Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal (Canadá).
- Da Silva, R. F., Hansen, J. E., Rijnsdorp, D. P., Lowe, R. J., & Buckley, M. L. (2022). The influence of submerged coastal structures on nearshore flows and wave runup. *Coastal Engineering*, 177, 104194.
- De la Torre-Castro, M., & P. Rönnbäck. 2004. Links between humans and seagrasses—an example from tropical East Africa. *Ocean & Coastal Management*, 47(7-8), 361-387.
- Declaración de Rio sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Rio de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992.
- Del Favero, G., S. Sosa, M. Pelin, E. D’Orlando, C. Florio, P. Lorenzon, M. Poli y A. Tubaro. 2012. Sanitary problems related to the presence of *Ostreopsis* spp. in the Mediterranean Sea: a multidisciplinary scientific approach. *Ann. Ist. Super. Sanità.* 48: 407- 414.

- Del Favero, G., S. Sosa, M. Pelin, E. D'Orlando, C. Florio, P. Lorenzon, M. Poli y A. Tubaro. 2012. Sanitary problems related to the presence of *Ostreopsis spp.* in the Mediterranean Sea: a multidisciplinary scientific approach. *Ann. Ist. Super. Sanità.* 48: 407- 414.
- DesInventar. 2015. Sistema de inventario de efectos de desastres. <http://online.desinventar.org>. Versión: 2015.033101
- Devis-Morales, A., W. Schneider, R. Montoya-Sánchez y E. Rodríguez-Rubio. 2008. Monsoon-like winds reverse oceanic circulation in the Panama Bight. *J. Geophys. Res. Lett.*, 35: L20607
- Díaz Merlano, J. M., L.M. Barrios Suárez y D.I. Gómez-López. 2003. Las praderas de pastos marinos en Colombia: Estructura y distribución de un ecosistema estratégico. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR.
- Díaz, J. M. 2011. Una revisión sobre los manglares: Características, problemáticas y su marco jurídico. Importancia de los manglares, el daño de los efectos antropogénicos y su marco jurídico -Caso sistema lagunar de Topolobampo. *Ra Ximhai*, 7(3): 355-369.
- Díaz, J.M., L.M. Barrios, M.H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G. H. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas-Angel, F.A. Zapata y S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 5, Santa Marta. 176 p.
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., ... Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework - connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>.
- Diebold, J.B. 2009. Submarine volcanic stratigraphy and the Caribbean LIP's formational environment. In: James, K.H., Lorente, M.A., Pindell, J.L. (Eds.). *The Origin and Evolution of the Caribbean Plate*. Geological Society, London, Special Publications. 328 pp.
- Django Software Foundation. (n.d.). DjangoThe web framework for perfectionists with deadlines. | Django. Retrieved February 14, 2023, from <https://www.djangoproject.com/start/overview/>
- DNP – Departamento Nacional de Planeación. 2007. Visión Colombia II Centenario 2019. Aprovechar el territorio marino costero en forma eficiente y sostenible. Propuesta para discusión. Presidencia de la República, Bogotá D.C., Colombia. 101 p
- DNP – Departamento Nacional de Planeación. 2013. Elementos para la formulación de la política nacional de ordenamiento territorial y alcances de las directrices departamentales. Secretaría de la COT. Bogotá D.C. 29 p.
- DNP – Departamento Nacional de Planeación. 2020. Colombia potencia bioceánica sostenible 2020. Consejo nacional de política Económica y Social – CONPES 3990. Documento CONPES 3930. Bogotá. D.C. 91p.
- DNP. Departamento Nacional de Planeación . 2020. Colombia potencia bioceánica sostenible 2020. Consejo nacional de política Económica y Social – CONPES 3990. Documento CONPES 3930. 91p. Bogotá. D.C.
- Donato, D. C., J. B. Kauffman, D. Murdiyarsa, S. Kurnianto, M. Stidham y M. Kanninen. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5): 293-297.
- Donlon, C.J., Martin, M., Stark, J., Roberts-Jones, J., Fiedler, E., and Wimmer, W. (2012). The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) system. *Remote Sensing of the Environment*. doi: 10.1016/j.rse.2010.10.017 2011.
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarsa, D., Kurnianto, S., Stidham, M. & Kanninen, M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4, 293–297.
- Doughty, C. L., Langley, J. A., Walker, W. S., Feller, I. C., Schaub, R., & Chapman, S. K. 2016. Mangrove range expansion rapidly increases coastal wetland carbon storage. *Estuaries and Coasts*, 39(2), 385-396.
- Duarte, C.M., Middelburg, J.J. & Caraco, N. 2005. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2, 1–8.
- Duke, N. C. 1992. Mangrove floristics and biogeography: Tropical mangrove ecosystems. Robertson A. I. y D. M. Alongi (Eds.). Washington D.C., 63-100 p.
- Duke, N. C. 2010. *Mora oleifera*. The IUCN Red List of Threatened Species, *Journal of East African Natural History*, <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178858A7629292.en>. Downloaded on 18 February 2019.
- Duke, N. C. 2020. A systematic revision of the vulnerable mangrove genus *Pelliciera* (Tetrameristaceae) in equatorial America. *Blumea*, 65: 107-120. <https://doi.org/10.3767/blumea.2020.65.02.04>
- Dürkefelden, A., Hoernle, K., Hauff, F., Wartho, J. A., Van Den Bogaard, P., Y Werner, R. 1971. Age and geochemistry of the Beata Ridge: Primary formation during the main phase (~89 Ma) of the Caribbean Large Igneous Province. *Lithos*. 2009. No. 28, 69-87.
- Echeverri-Jaramillo, G., Jaramillo-Colorado, B., Junca, H., Consuegra-Mayor, C. (2019). Towards the Development of Microbial Ecotoxicology Testing Using Chlorpyrifos Contaminated Sediments and Marine Yeast Isolates as a Model. *Microorg.* 2022 10. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/microorganisms10102019>
- Edgar, N.T., Ewing, J.I. Y Hennion, J. 1971. Seismic refraction and reflection in Caribbean Sea. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* Vol, 55. 833–870 p.
- Edgar, N.T., Saunders, J.B., Bolli, H.M., Donnelly, T.W., Hay, William, Maurrasse, Florentin, Prell, W., Silva, I., Riedel, Y William, Schneidermann. 1973. Deep Sea Drilling Project Leg 15 Chapter 6 Site. No. 151, 301-39 p.

- Ehler, Ch. y F. Douvère. 2009. Marine Spatial Planning: a step-by-step approach toward ecosystembased management. Intergovernmental Oceanographic Commission - Man and the Biosphere Programme, IOC Manual and Guides No. 53, ICAM Dossier No. 6, UNESCO, París. 98 p.
- Eichbaum, W., Crosby, M., Agardy, M., & Laskin, S. 1996. The role of marine and coastal protected areas in the conservation and sustainable use of biological diversity. *Oceanography*, 9(1), 727-732.
- Ellison, A., E. Farnsworth y G. Moore. 2010. Pelliciera rhizophorae. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T178833A7621318. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178833A7621318.en>. Downloaded on 5 February 2021.
- Ellison, J. 2012. Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Planning for Mangrove Systems. World Wildlife Fund (WWF), Washington, DC. 130 p.
- Escobar-Toledo, F., Zetina-Rejón, M. J., & Duarte, L. O. (2015). Measuring the spatial and seasonal variability of community structure and diversity of fish by-catch from tropical shrimp trawling in the Colombian Caribbean Sea. *Marine Biology Research*, 11(5), 528-539. doi:10.1080/17451000.2014.952311
- ESR; Dohan, Kathleen. 2021. Ocean Surface Current Analyses Real-time (OSCAR) Surface Currents - Near Real Time 0.25 Degree (Version 2.0). Ver. 2.0. PO. DAAC, CA, USA. Dataset accessed [2023-02-01] at <https://doi.org/10.5067/OSCAR-25N20>.
- Estrada-Saldívar, N., B. A. Quiroga-García, E. Pérez-Cervantes, O. O. Rivera-Garibay and L. AlvarezFilip. 2021. Effects of the Stony Coral Tissue Loss Disease Outbreak on Coral Communities and the Benthic Composition of Cozumel Reefs. *Front. Mar. Sci.*, 8: 632777. doi: 10.3389/fmars.2021.632777.
- Etienne, H. 2019. Global Total Surface and 15m Current (COPERNICUS-GLOBCURRENT) from Altimetric Geostrophic Current and Modeled Ekman Current Processing product. EU Copernicus Marine Service Information [Data set]. Dataset accessed [2023-02-01] at <https://doi.org/10.48670/moi-00049>
- Everham, E. M. y N. V. L. Brokaw 1996. Forest damage and recovery from catastrophic wind. *Botanical Review*, 62: 113-185.
- Faimali, M., V. Giussani, V. Piazza, F. Garaventa, C. Corrá, V. Asnaghi, D. Privitera, L. Gallus, R. Cattaneo-Vietti, L. Mangialajo and M. Chiantore. 2012. Toxic effects of harmful benthic dinoflagellate *Ostreopsis ovata* on invertebrate and vertebrate marine organisms. *Mar. Environ. Res* 76: 97-107.
- FAO y PNUMA. 2020. El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Roma. 224 p.
- Feller, I.C. 2002. The role of herbivory by wood-boring insects in mangrove ecosystems in Belize. *Oikos* 97, 167–176.
- Ferreira, C.E.L., 2006. Sea urchins killed by toxic algae. *JMBA Glob. Mar. Environ.* 3, 22–23.
- Field, C. 1997. La restauración de ecosistemas de manglares. Ed. OIMT-Organización Internacional de Maderas Tropicales. Managua. 278 p.
- Field, C. B., M. J. Behrenfeld, J. T. Randerson y P. Falkowski. 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*. 281:237–40.
- Forsbergh, E. D. 1969. On climatology, oceanography, and fisheries of the Panama Bight: Inter-Am. Tropical Tuna Comm. Bull., v. 14, p. 49-385.
- Fourqurean, J. W., C. M. Duarte, H. Kennedy, N. Marbà, M. Holmer, M. A. Mateo, E. T. Apostolaki, G. A. Kendrick, D. Krause-Jensen and K. J. McGlathery. 2012. "Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock." *Nature Geoscience* 5(7): 505-509.
- Fourqurean, J., B. Johnson, J. B. Kauffman, H. Kennedy y C. Loveloch. 2014. Field sampling of soil carbon pools in coastal ecosystems. (39-66). En *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes and seagrass meadow*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA. 181 pg.
- Gaitán, J. D. 2007. Ictiotoxismo por consumo de barracuda (*Sphyraena barracuda*) y morena manchada (*Gymnothorax moringa*) en la comunidad de pescadores artesanales de Tasajera, Caribe colombiano. *DUAZARY*, 4(2): 160-167.
- Gallitelli, M., N. Ungaro, L. M. Addante, N. G. Silver y C. Sabba. 2005. Respiratory illness as a reaction to tropical algal blooms occurring in temperate climate. *J. Am. Med. Assoc.* 293: 2599-2600.
- Garcés-Ordóñez, O., Espinosa L, Pereira R., Muniz M., 2020. Impact of tourism activity on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 160: 111558. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111558>
- Garcés-Ordóñez, O., Espinosa, L. F., Costa Muniz, M., Salles Pereira, L. B. & Meigikos dos Anjos, R. 2021. Abundance, distribution, and characteristics of microplastics in coastal surface waters of the Colombian Caribbean and Pacific. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(32), 43431-43442. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13723-x>
- García, C., García-Murcia, J., & Sierra-Correa, P. C. 2017. Red de estaciones mete-oceanográficas: análisis de su gestión y sostenibilidad. In G. Bernal & A. Osorio (Eds.), *SEMINARIO NACIONAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DEL MAR MEMORIAS 2017* (pp. 33–34).
- Garzón-Ferreira, J. and J.M. Díaz. 2003. The Caribbean coral reefs of Colombia. 275-301. En: Cortés, J. (Ed.). *Latin American Coral Reefs*. Elsevier Science B.V., Ámsterdam
- Garzón-Ferreira, J., Reyes, M., y Rodríguez, A. 2002. Manual de Métodos del SIMAC: Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos en Colombia. Santa Marta: INVEMAR. 102 p.

- Gianoli, A., Hung, A., & Shiva, C. 2019. Relación entre coliformes totales y termotolerantes con factores fisicoquímicos del agua en seis playas de la bahía de Sechura-Piura 2016-2017. *Salud y Tecnología Veterinaria*, 6(2), 62.
- Gil-Agudelo, D., R. Navas-Camacho, A. Rodríguez-Ramírez, M.C. Reyes-Nivia, S. Bejarano, J. GarzónFerreira and G. W. Smith. 2009. Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 38 (2): 189-224.
- Gilbert, G.S., Mejía, M. y Rojas, E. 2002. Fungal diversity and plant disease in mangrove forests: salt excretion as a possible defense mechanism. *Oecologia*, 132: 278-285.
- Giri, C., E. Ochieng, L. L. Tieszen, Z. Zhu, A. Singh, T. Loveland, J. Masek y N. Duke. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1): 154-159.
- Girón, A., Rico, F., & Rueda, M. 2010. Evaluación experimental de dispositivos excluidores de fauna acompañante en redes de arrastre para camarón de aguas someras en el Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 337-357.
- Giron-Montaño, A., Rueda, M., Eraso-Ordoñez, J. F., & Rodríguez-Jiménez, A. 2016. Variación interanual de la estructura de tallas y aspectos reproductivos del camarón pink (*Farfantepenaeus brevisrostris*) en el Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 45(2), 253 - 268.
- Gobierno de Colombia. 2020. Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC). Comisión Intersectorial de Cambio Climático. Bogotá D.C., 112 p.
- Gómez López, D. I., S.M. Navarrete Ramírez, R. Navas Camacho, C. Díaz Sánchez, L. Muñoz Escobar, E. Galeano. 2014. Protocolo Indicador Condición Tendencia Praderas de Pastos Marinos (ICTPM). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP).
- Gómez, Á.G., Ramos, F.A., Sinuco, D.C. 2021. Screening of volatile organic compounds from actinobacteria for the control of phytopathogen *Colletotrichum gloeosporioides*. *BIOCONTROL Sci. Technol.* 31, 1067–1079. <https://doi.org/10.1080/09583157.2021.1918635>
- Gómez-López, D. I., D. Alonso-Carvajal, C. Ricaurte-Villota y L. Espinosa Díaz. 2020. Evaluación del estado de los ambientes marinos, costeros (manglares, corales, pastos marinos, playas, calidad del agua) y oceanográficos (operación de la boya oceanográfica) en jurisdicción de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORALINA). Informe Técnico Final. Convenio 001-2020. CORALINA- INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta.
- González, M., Medina, R., & Muñoz Pérez, J. J. (1999). Influence of coastal structures on equilibrium beach. Universidad de Cádiz, España.
- Good, S., Fiedler, E., Mao, C., Martin, M.J., Maycock, A., Reid, R., Roberts-Jones, J., Searle, T., Waters, J., While, J., and Worsfold, M. (2020). The Current Configuration of the OSTIA System for Operational Production of Foundation Sea Surface Temperature and Ice Concentration Analyses. *Remote Sens.* 2020, 12, 720, doi:10.3390/rs12040720
- Granéli, E., Ferreira, C., Yasumoto, T., Rodrigues, E., Neves, B., 2002. Sea urchins poisoning by the benthic dinoflagellate *Ostreopsis ovata* on the Brazilian Coast. In: Steidinger, K.A. (Ed.), *Book of Abstracts 10th Int Conf on Harmful Algae*, 21–25. St. Pete Beach, FL, p. 113.
- Gunicorn.org. (n.d.). Gunicorn - Python WSGI HTTP Server for UNIX. Retrieved February 14, 2023, from <https://gunicorn.org/>.
- Guzmán D.; Ruíz, J. F.; Cadena M. 2014. Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través de Análisis de Componentes Principales (Acp), 54 p.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services CICES V5. 1. Guidance on the Application of the Revised Structure. Fabis Consulting. Nottingham. Retrieved from [www.cices.eu](http://www.cices.eu).
- Hallegraeff, G. M., D. M. Anderson y A. D. Cembella (Ed.). 2004. Manual on harmful marine microalgae. Monographs on Oceanographic Methodology. UNESCO Publishing, Paris. 793 p.
- Hamilton, S. E. y D. Casey. 2016. Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 25(6): 729-738.
- Harvell, C. D., E. Jordán-Dahlgren, S. Merkel, E. Rosenberg, L. Raymundo, G. Smith, E. Weil and B. Willis. 2007. Coral diseases, environmental drivers and the balance between corals and microbial associates. *Oceanography*, 20: 172–195
- Heck Jr, K. L., G. Hays & R.J. Orth. 2003. Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progress Series*, 253, 123-136.
- Heredia-Tapia, A., B. O. Arredondo-Vega, E. J. Núñez-Vázquez, T. Yasumoto, M. Yasuda y J. L. Ochoa. 2002. Isolation of *Prorocentrum lima* (*Syn Exuviaella lima*) and diarrhetic shellfish poisoning (DPS) risk assessment in the gulf of California, México. *Toxicon* 40: 1121-1127.
- Herrera Silveira, J. A., Camacho Rico, A., Pech, E., Pech, M., Ramírez Ramírez, J., y Teutli Hernández, C. 2016. Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1): 61-72.
- Hidalgo-Ruz, V., D. Honorato-Zimmer, M. Gatta, P. Nuñez, I. Hinojosa y M. Thiel. 2018. Spatio-temporal variation of anthropogenic marine debris on Chilean beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 126, 516-524. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.014>

- Hoernle K, Van De Bogaard P, Werner R, Lissina B, Hauff F, Alvarado G, Y Garbe-Schonberg D. 2002. Missing history (16–71 Ma) of the Galapagos Hotspot: implications for the tectonic and biological evolution of the Americas. *Geology* 30(9):795–798.
- Hogarth, P. 1999. *The Biology of Mangroves*. Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 228.
- Hosseini, H., Al, H.M., Siddiqui, S.A., Saadaoui, I. (2022). Marine microbial bioprospecting : Exploitation of marine biodiversity towards biotechnological applications — a review 1030–1043. <https://doi.org/10.1002/jobm.202100504>
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E. 2014. *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA.
- Hu T., Defreitas, A.S., Doyle, J., Jackson, D., Marr, J., Nixon, E., Pleasance, S., Qilliam, M.A., Walter, A., Wright., J.L.C. 1993. New DSP toxin derivatives isolated from toxic mussels and the dinoflagellates, *Prorocentrum lima* and *Prorocentrum concavum*. eds. T.J Smayda, and Y. Shimizu. *Toxic phytoplankton blooms in the sea*. Elsevier Scientific Publishing. Amsterdam. 507–512. Elsevier Science Publishers, New York.
- Huang, B., Thorne, P.W., Banzon, V.F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J.H., Menne, M.J., Smith, T.M., Vose, R.S., and Zhang, H. (2017): NOAA Extended
- ICONTEC. 2006. NTC 5403 calidad de suelo. Determinación del carbono orgánico. Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación. Bogotá D.C., Colombia.
- ICONTEC. 2020. Código eléctrico colombiano NTC 2050:2020.
- IDEAM – Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. 2014. Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. Bogotá, D. C. 134 p.
- IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (25 de enero de 2024) Boletín de seguimiento fenómeno el niño y la niña. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/boletin-de-seguimiento-fenomeno-el-nino-y-la-niña>
- IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2023. Boletín de predicción climática y recomendación sectorial, (344), p. 19. [http://www.ideam.gov.co/documents/21021/125477056/10\\_Bolet%C3%ADn\\_Predicci%C3%B3n\\_Clim%C3%A1tica\\_Octubre\\_2023.pdf/bdc9ed4f-0c64-4b6b-9ab2-7328ae1a421d?version=1.0](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/125477056/10_Bolet%C3%ADn_Predicci%C3%B3n_Clim%C3%A1tica_Octubre_2023.pdf/bdc9ed4f-0c64-4b6b-9ab2-7328ae1a421d?version=1.0)
- IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2022. Boletín Climatológico. p. 8. [http://www.ideam.gov.co/documents/21021/122201016/06\\_Bolet%C3%ADn\\_Climatol%C3%B3gico\\_Junio\\_2022.pdf/5824b45f-96ab-4935-829f-f5083adbe5f7?version=1.0](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/122201016/06_Bolet%C3%ADn_Climatol%C3%B3gico_Junio_2022.pdf/5824b45f-96ab-4935-829f-f5083adbe5f7?version=1.0)
- IDEAM, IGAC, IAVH, INVEMAR, I. SINCHI E IIAP. 2007. *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C, 276 p. + 37 hojas cartográficas.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP y CANCELLEÍA. 2015. *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional - Regional: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. ISBN 978-958-8902-57-9. Bogotá, D.C. 15 p.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP y CANCELLEÍA. 2017. *Análisis de vulnerabilidad y riesgo por cambio climático en Colombia*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia. 333 p.
- IDEAM. 2020. Comunicado Especial N° 156 Finalización Temporada de Huracanes 2020. Consultado en: <http://www.ideam.gov.co/documents/78690/112399859/COMUNICADO+ESPECIAL+N%C2%B0156+FINALIZACION+TEMPORADA+DE+HURACANES+2020.pdf/12563bc9-ee5c-4b56-8b38-cbda349a340c?version=1.0>
- INVEMAR y Fundación Natura. 2019. Informe Descriptivo Intermedio año 2019. Informe técnico de avance ITA-003. PRY-001-17. 129 páginas. López Rodríguez, A.P. y P.C. Sierra-Correa. (Eds). Contrato de Subvención No. EU ENV/2016/380-526.
- INVEMAR Y MINAMBIENTE. 2019a. Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico. Componente Marino Costero. Informe Técnico Final. Actividad 3. Convenio 480-2019, Santa Marta 200 p.
- INVEMAR Y MINAMBIENTE. 2019b. Ficha técnica de indicadores del Plan Nacional de Desarrollo (PND), 2018-2022: Pacto por Colombia pacto por la equidad. Porcentaje de estaciones de monitoreo de aguas marinas con categorías aceptable y óptima calidad. Santa Marta D.T.C.H., Colombia. 3 p.
- INVEMAR, CARSUCRE y CVS. 2002. Formulación del plan de manejo integrado de la Unidad Ambiental Costera Estuarina del río Sinú y golfo de Morrosquillo, Caribe Colombiano. Fase I Caracterización y Diagnóstico. Santa Marta. 802 p
- INVEMAR. 2003. Programa holandés de asistencia para estudios en cambio climático: Colombia. Definición de la vulnerabilidad de los sistemas biogeofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (Caribe continental, Caribe Insular y Pacífico) y medidas para su adaptación. VII tomos. DOI: <http://n2t.net/ark:/81239/m9wg6h>

- INVEMAR. 2010. Perfil de vulnerabilidad y propuesta de opciones de adaptación para Santa Marta en el marco de la evaluación de la vulnerabilidad por ascenso en el nivel del mar (ANM) en la zona costera del departamento del Magdalena. Santa Marta, 247 p.
- INVEMAR. 2014a. Concepto técnico sobre la mortandad de peces en la Ciénaga Grande de Santa Marta-octubre 2014. CPT-CAM-030-14. Santa Marta, 11p.
- INVEMAR. 2014b. Evaluación de la vulnerabilidad por ascenso en el nivel del mar (ANM) y propuesta de lineamientos de adaptación en las islas de San Andrés Providencia y Santa Catalina. Código: SAI-VA-003. Informe técnico final. Convenio Interadministrativo de asociación No. 003 de 2013 INVEPARCORALINA. Santa Marta. 359 p.
- INVEMAR. 2015a. Informe del Estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia. Año 2014, Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. INVEMAR, Santa Marta, Colombia. 176 p.
- INVEMAR. 2015b. Concepto técnico sobre la mortandad de peces en la Ciénaga Grande de Santa Marta (sector Tasajera), Magdalena, ocurrida en junio de 2015. CPT-CAM-0-11. Santa Marta, 14 p.
- INVEMAR. 2015c. Concepto técnico sobre la mortandad de peces en el sector Pajal, Ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena, en julio de 2015. CPT-CAM-015-15. Santa Marta. 11p.
- INVEMAR. 2015d. Concepto técnico sobre mortandad de peces en la Ciénaga Grande de Santa Marta (sector Caño Grande - Pajarales), ocurrida en noviembre de 2015. CPT-CAM-022-15. Santa Marta. 13 p.
- INVEMAR. 2016. Resultados preliminares del monitoreo a la Ciénaga Grande de Santa Marta. Evaluación de variables fisicoquímicas en un período de 24 horas en el sector de Pajarales, Ciénaga Grande de Santa Marta. <http://www.invemar.org.co/-/resultados-preliminares-del-monitoreo-a-la-Cienaga-grande-santa-marta>.
- INVEMAR. 2017a. Elaboración del análisis de vulnerabilidad marino costera e insular ante el cambio climático para la TCNCC. Contrato PNUD NO. 0000040357. Informe técnico final. Santa Marta. 256 pp.
- INVEMAR. 2017b. Vulnerabilidad al cambio climático y lineamientos de adaptación para el Distrito de Buenaventura. Eds: Hernández-Narváez, Romero D'Achiardi, D, Zamora-Bornachera, A., Sierra-Correa, P., Informe Técnico Final. BPIN INVEMAR-MINAMBIENTE. Santa Marta. 84 p.
- INVEMAR. 2018. Análisis de vulnerabilidad al cambio climático y lineamientos de adaptación para el municipio de Bahía Solano. Eds: Hernández-Narváez, D., Romero D., Vega, A., y Zamora, A. Informe Técnico Final. BPIN 2018. MINAMBIENTE – INVEMAR Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 96 p.
- INVEMAR. 2019a. Sistema de Información pesquera de Invemar (SIPEIN). SIAM. [http://sipein.invemar.org.co/informes/captura\\_estimada/externos/](http://sipein.invemar.org.co/informes/captura_estimada/externos/)
- INVEMAR. 2019b. Evaluación de vulnerabilidad al cambio climático y lineamientos de adaptación para el municipio de Santiago de Tolú. Eds: Hernández-Narváez, D., Romero D., Laguna, L., y Zamora, A. Informe Técnico Final. BPIN 2019. MINAMBIENTE – INVEMAR Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 93 p.
- INVEMAR. 2020. Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia – SIAM. Base de datos del Sistema de Información para la Gestión de los Manglares de Colombia (SIGMA). <http://sigma.invemar.org.co>.
- INVEMAR. 2020a. Avances en el conocimiento de microalgas potencialmente nocivas y floraciones algales en Colombia. Informe Técnico Final. INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 39 p.
- INVEMAR. 2020b. Vulnerabilidad al cambio climático y lineamientos de adaptación para el Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla. Eds: Hernández-Narváez, D., Romero D'Achiardi, D., Vega, A., Beltrán, J., Zamora-Bornachera, A., Sierra-Correa, P.C. Informe Técnico Final. BPIN INVEMAR 2020. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 90 p.
- INVEMAR. 2020c. Estado del conocimiento y vacíos en el ambiente marino y los ecosistemas marinos y costeros. 145-150 p. En: INVEMAR. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros de Colombia, 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 183 p.
- INVEMAR. 2021a. Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Técnico Final 2020, Volumen 19. Santa Marta 193p. + Anexos.
- INVEMAR. 2021b. Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Técnico Final 2021, Volumen 20. Santa Marta 178 p.
- INVEMAR. 2021c. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2020. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 268 p. Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia 2021 243
- INVEMAR. 2021d. Operación Cangrejo Negro (Pp 189 - 224). En: INVEMAR. Informe de estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2020. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3 Santa Marta. 268 p.
- INVEMAR. 2021e. Vulnerabilidad e impactos del cambio climático y lineamientos de adaptación para el Distrito de Turbo, Antioquia. Eds: Hernández-Narváez D., Romero-D'Chardi D., Laguna-Lecompte, L., Beltrán J., Zamora, A., García C. 2021. Informe Técnico Final (ITF). BPIN INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 103 p.

- INVEMAR. 2021f. Final draft version of the Non-permanence risk tools for AFOLU and JNR. AFOLU project and JNR program Non-Permanence Risk Tools (NPRT) Updating – VERRA. Contract of service INVEMAR - South Pole. Santa Marta D.T.C.H., 39 p.
- INVEMAR. 2022a. Línea de costa, índice de Erosión Costera de Colombia. Fortalecimiento del sistema de operaciones estadísticas ambientales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR. Escala 1:30.000. Programa Geociencias Marinas y Costeras.
- INVEMAR. 2022b. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2021. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 254 p.
- INVEMAR. 2022c. Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia – SIAM. Base de datos del Sistema de Información para la Gestión de los Manglares de Colombia (SIGMA). <http://sigma.invemar.org.co>.
- INVEMAR. 2022e. Análisis histórico 2001-2021 de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Obando P. y L. Espinosa (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico 2021. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 208 p.
- INVEMAR. 2023. Evaluación del estado de los ecosistemas marinos (manglar, playas, corales y pastos marinos) y las condiciones ambientales en las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina luego del paso del huracán Julia. Informe técnico final. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 96 pp.
- INVEMAR-CI. 2022. Informe técnico final: Estimación de las existencias de carbono azul en ecosistema de manglar del distrito de manejo integrado Caimanera y parque natural regional Guacamayas, departamento de Sucre, Caribe colombiano. ITF Convenio No. 113085. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 56p + anexos.
- INVEMAR-CORALINA. 2022. Estimación de las existencias de carbono azul en ecosistema de manglar del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Informe Técnico Final Convenio 001-2021. Santa Marta. 78 p.
- INVEMAR-GEO. 2022. Morfodinámica de playa Salguero, evaluación de los procesos causantes de erosión costera. Informe Técnico Final. ACTIVIDAD BPIN INVEMAR. Programa Geociencias Marinas y Costeras. Santa Marta. 48 pp.
- INVEMAR-MADS. 2020. Convenio MADS 534 para la formulación de un programa de acompañamiento técnico a comunidades con incidencia costera en la región Pacífica y Caribe, para la identificación de acciones y proyectos orientados a la prevención de riesgo de desastres y gestión del riesgo climático.
- INVEMAR-MADS. 2022. Proyectos de eco-reducción del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático en el municipio Nuquí y en la localidad de barú del distrito de Cartagena. Convenio interadministrativo No. 805 – 2022. MINAMBIENTE – INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 55 pp.
- INVEMAR-MADS-Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias-CDKN. 2012. Formulación de los lineamientos de adaptación al cambio climático en Cartagena de Indias. Proyecto Integración de la Adaptación al Cambio Climático en la Planificación Territorial y Gestión Sectorial de Cartagena de Indias. Editor: Rojas, G. X. Cartagena de Indias, Colombia. Serie de documentos especiales del Invemar, 211p.
- INVEMAR-MINAMBIENTE-DIMAR-CCO. 2021. Seaflower Plus 2021: Ecosistemas marinos someros de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Roncador, Serrana y Quitasueño. Convenio Interadministrativo 628-2021 MinAmbiente-IAvH-IDEAM-Invemar. Informe Técnico Final. 112 p. + 8 anexos.
- IOC-UNESCO. 2021. Taxonomic reference list of harmful algae. <http://www.marinespecies.org/hab>. Accessed on 2021-12-23.
- IPCC. 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.
- IPCC. 2019. Summary for Policymakers. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama and N. Weyer (eds.)]. In press.
- Isaza, J.P., Sandoval-figueroa, V., Rodelo, M.C., Figueroa-Galvis, I., Muñoz-García, A., Vanegas, J. (2021). Metatranscriptomic characterization of the bacterial community of a contaminated mangrove from the Caribbean. *Reg. Stud. Mar. Sci.* 44, 101724. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101724>
- Islebe, G. A., N. Torrescano-Valle, M. Valdez-Hernández, M. Tuz-Novelo y H. Weissenberger. 2009. Efectos del impacto del huracán Dean en la vegetación del sureste de Quintana Roo, México. *Foresta Veracruzana*, 11(1): 1-6.
- Ito, M., Halouani, G., Cresson, P., Giraldo, C., & Girardin, R. (2023). Detection of fishing pressure using ecological network indicators derived from ecosystem models. *Ecological Indicators*, 147, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110011>.
- IUCN, (2016). Definición de soluciones basadas en la naturaleza. WCC\_2016\_RES\_069. Consultado el 03/08/2023 de: <https://portals.iucn.org/library/node/46486>
- Jaramillo, F., L. Licero, I. Åhlen, S. Manzoni, J. A. Rodríguez-Rodríguez, A. Guittard, y O. Martínez. 2018. Effects of hydroclimatic change and rehabilitation activities on salinity and mangroves in the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Wetlands*, 38(4), 755-767.

- Jouanno, J., Sheinbaum, J., Barnier, B., Molines, J. M., & Candela, J. 2012. Seasonal and interannual modulation of the eddy kinetic energy in the Caribbean Sea. *Journal of Physical Oceanography*, 42(11), 2041-2055.
- Kathiresan, K. & Bingham, B.L. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in marine biology*, 40, 81–251.
- Kauffman, J., C. Heider, T. Cole, K. A. Dwire y D. C. Donato. 2011. Ecosystem Carbon Stocks of Micronesian Mangrove Forests. *Wetlands*, 31: 343-352.
- Kauffman, J., D. C. Donato y M. F. Adame. 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Documento de Trabajo 117. CIFOR. Indonesia. 48 p.
- Kelleway, J. J., K. Cavanaugh, K. Rogers, I. C. Feller, E. Ens, C. Doughty y N. Saintilan. 2017. Review of the ecosystem service implications of mangrove encroachment into salt marshes. *Global Change Biology*, 23(10): 3967-3983.
- Kennedy, H., Beggins, J., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W., Holmer, M., Marba, N. et al. 2010. Seagrass sediments as a global carbon sink: Isotopic constraints. *Global Biogeochemical Cycles*, 24.
- Komiyama, A., S. Havanond, W. Srisawant, Y. Mochida, K. Fujimoto, T. Ohnishi, S. Ishihara y T. Miyagi. 2000. Top / root biomass ratio of a secondary mangrove forest. *For. Ecol. Manage.* 139, 127–134.
- Komiyama, A., S. Havanond, W. Srisawant, Y. Mochida, K. Fujimoto, T. Ohnishi, S. Ishihara y T. Miyagi. 2000. Top / root biomass ratio of a secondary mangrove forest. *For. Ecol. Manage.* 139, 127–134.
- Kücklick, M. 1987. Biomasa del fitoplancton y contenido del seston en un estuario de manglar (Ciénaga Grande de Santa Marta). Tesis de Biología. Universität Stuttgart-Hohenheim. Botanisches Institut. 262 p.
- Lacabra C. L., C. P. Lozano, D. Alonso y M. Fontalvo. 2003. Amenazas naturales y antrópicas en las zonas costeras colombianas. Serie de documentos generales de INVEMAR No. 15. 74 p.
- Lavery, P., Mateo, M., Serrano, O. & Rozaimi, M. 2013. Variability in the Carbon Storage of Seagrass Habitats and Its Implications for Global Estimates of Blue Carbon Ecosystem Service. *PLoS One*, 8, e73748.
- Leal, M.C., Anaya-rojas, J.M., Munro, M.H.G., Blunt, J.W., Melian, C.J. (2020). Fifty years of capacity building in the search for new marine natural products 117, 24165–24172. <https://doi.org/10.1073/pnas.2007610117>
- Lebreton L, van der Zwet J, Damsteeg J, Slat B, Andrady A, Reisser J (2017) River plastic emissions to the world’s oceans. *Nat Commun* 8:15611. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- Lee, O.H.K. y K.D. Hyde. 2002. Phylloplane fungi in Hong Kong mangroves: evaluation of study methods. *Mycologia* 94, 596–606.
- Legendre, L., y R. B. Rivkin. 2002. Fluxes of carbon in the upper ocean: regulation by food-web control nodes. *Mar Ecol Prog Ser.* 242:95–109.
- Lemos, G., Smedo, A., Hemer, M., Menendez, M., & Miranda, P. M. (2021). Remote climate change propagation across the oceans-the directional swell signature. *Environmental Research Letters*, 16(6), 064080.
- Leung, Yu-Fai, Spenceley, A, Hvenegaard, G, and Buckley, R, (2018). Tourism and visitor management in protected areas: Guidelines for sustainability. Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 27, Gland, Switzerland: IUCN. 120 pp.
- Leyton, L. M. y F. E. Delgado 1994. Monitoreo IV Fase Ecosistemas de Manglar. Golfo de Morrosquillo. Ecopetrol-DCC, Cúcuta.
- Litaker, R.W., M. Vandersea, M. Faust, S. Kibler, M. Chinain, M. Holmes, W. Holland y P. Tester. 2009. Taxonomy of Gambierdiscus including four new species, Gambierdiscus caribaeus, Gambierdiscus carolinianus, Gambierdiscus carpenteri and Gambierdiscus ruetzleri (Gonyaulacales, Dinophyceae). *Phycologia*, 48(5): 344–390.
- Longhurst, A., S. Sathyendranath, T. Platt y C. Caverhill. 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *J Plankton Res.* 17:1245–71.
- Magurrán, A. (2016). Cómo cambian los ecosistemas. *Ciencia*, 351, 448-449.
- Maldonado, I., M. Hernández, J. Clavijo y G. Reyes. 1998. Geología de la Plancha 25 Fundación. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá. 1 p.
- Mancera, J. E., y L. A. Vidal. 1994. Florecimiento de microalgas relacionado con mortandad masiva de peces en el complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Ans. Inst. Invest. Mar. Punta Betín.* 23: 103-117.
- Manjarrés, L., Duarte, L. O., Altamar, J., Escobar-Toledo, F., García, C., & Cuello, F. (2008). Efectos del uso de dispositivos reductores de pesca acompañante en la pesquería de camarón del Mar Caribe de Colombia. *Ciencias Marinas*, 34(2), 223-238. [doi:10.7773/cm.v34i2.1154](https://doi.org/10.7773/cm.v34i2.1154)
- Manjarrez Paba, G.M., Baldiris Ávila, R. (2021). Enterococcus Present in Marine Ecosystems and Their Potential to Degrade Azo Dyes, in: Zhang, Y., Liang, X.S. (Eds.), *Coastal Environments*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95439>
- Marcaillou, B., Charvis, P., Y Collot, J. Y. 2006. Structure of the Malpelo Ridge (Colombia) from seismic and gravity modelling. *Marine Geophysical Researches*, 27(4), 289-300.
- Marín, B. 2001. Establecimiento de valores indicativos del grado de contaminación de tóxicos químicos y microorganismos de origen fecal, como base para la expedición de normativas de la calidad de las aguas marinas de Colombia. Informe Técnico Final de Proyecto. 45p.
- Marshall, P.A. and A.H. Baird. 2000. Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: Differential susceptibilities among taxa. *Coral Reefs*, 19: 155-163. Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia 2021 245

- Martínez-Osuna P, J. F., Ocampo-Torres, F. J., Gutiérrez-Loza, L., Valenzuela, E., Castro, A., Alcaraz, R., Rodríguez, C., & Ulloa, L. R. 2021. Coastal buoy data acquisition and telemetry system for monitoring oceanographic and meteorological variables in the Gulf of Mexico. *Measurement*, 183, 109841. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2021.109841>
- Mauffret, A., Y Leroy, S. 1997. Seismic stratigraphy and structure of the Caribbean igneous province. *Tectonophysics*. 1997. Vol, 283; no. 1-4, 61-104 p.
- Mauffret, A., Y Leroy, S. 1999. Neogene intraplate deformation of the Caribbean plate at the Beata Ridge. En *Sedimentary basins of the world*. Elsevier. Vol. 4. 627-669 p.
- McClanahan, T. R. 2004. Coral bleaching, diseases and mortality in the western Indian Ocean. 157–176. En: Rosenberg, E. and Y. Loya (Eds) *Coral health and disease*. Springer-Verlag, Berlin
- McField, M., P. Kramer, A. Giró-Petersen, M. Soto, I. Drysdale, N. Craig and M. Rueda-Flores. 2020. 2020 Mesoamerican Reef Report Card. 36 p.
- Mcleod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Bjork, M., Duarte, C.M. et al. 2011. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 552–560.
- Méndez-Lugo, Ber. 2011. Huracanes y Ciclones en Centroamerica (Hurricanes and Tropical Storms in Central America) Compilation by Bernardo Mendez Lugo (Mexican Diplomat).
- Merlotto, A., & Bértola, G. 2008. A5. Mapa de riesgo a la erosión costera de la provincia de buenos aires.
- Millar, R., & Fryer, R. 1999. Estimating the size-selection curves of towed gears, traps, nets, and hooks. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 9(1), 89-116. doi:10.1023/A:1008838220001
- Minambiente – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Decreto 1076 de 2015. "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible". Bogotá D.C. 654 p
- Minambiente – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2013. Decreto 1120 de 2013. "Por el cual se reglamentan las Unidades Ambientales Costeras – UAC- y las comisiones conjuntas, se establecen las reglas de procedimiento y criterios para reglamentar la restricción de ciertas actividades en pastos marinos y se dictan otras disposiciones". Bogotá D.C. 10 p
- Minambiente e INVEMAR (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras). 2015. Avances en la investigación y el conocimiento sobre amenazas y vulnerabilidad por erosión costera y riesgo ecológico en la zona costera colombiana. 268 p.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo MCIT. 2022. Plan Sectorial de Turismo 2022 – 2026. Turismo en armonía con la vida. Documento Final. Bogotá. 83p.
- Mira, J.D., S. Betancur y L.E. Urrego. 2017. Relación entre la infección por agallas, las variables estructurales y la anatomía de la madera de *Rhizophora mangle* L. en el Golfo de Urabá (Colombia). *Actu Biol*. 39: 41-56.
- MMA – Ministerio de Medio Ambiente. 2001. Política Nacional Ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá. 81 p
- Mobilis. (n.d.). Data buoys - Mobilis. Retrieved February 13. 2023, from <https://mobilis-sa.com/en/products/data-buoy/>
- Monitoring, G., & Center, F. 2019. Global ocean 1/12 physics analysis and forecast updated daily product. EU Copernicus Marine Service Information [Data set]. Dataset accessed [2023-02-01] at <https://doi.org/10.48670/moi-00016>.
- Monsalve-bustamante, Y., Rincón-valencia, S., Mejía-giraldo, J., Moreno-tirado, D., Puertas-mejía, M. (2019). Screening of the UV absorption capacity, proximal and chemical characterization of extracts , and polysaccharide fractions of the *Gracilariopsis tenuifrons* cultivated in Colombia. *J. Appl. Pharm. Sci*. 9, 103–109. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2019.91014>
- Montoya-Sánchez, R. A., Devis-Morales, A., Bernal, G., & Poveda, G. 2018. Seasonal and intraseasonal variability of active and quiescent upwelling events in the Guajira system, southern Caribbean Sea. *Continental Shelf Research*, 171, 97-112.
- Moore Jr, T. C., Heath, G. R., Y Kowsmann, R. O. 1973. Biogenic sediments of the Panama Basin. *The Journal of Geology*, 81(4), 458-472.
- Moore, A. M., Arango, H. G., Broquet, G., Powell, B. S., Weaver, A. T., & Zavala-Garay, J. 2011. The Regional Ocean Modeling System (ROMS) 4-dimensional variational data assimilation systems: Part I–System overview and formulation. *Progress in Oceanography*, 91(1), 34-49.
- Moreira-González, A. R., Fernandes, L. F., Uchida, H., Uesugi, A., Suzuki, T., Chomérat, N., Bilien, G., Mafra Jr, L.L., 2019. Variations in morphology, growth, and toxicity among strains of the *Prorocentrum lima* species complex isolated from Cuba and Brazil. *J. Appl. Phycol*. 31, 519–532.
- Mumby, P.J. 2006. Connectivity of reef fish between mangroves and coral reefs: algorithms for the design of marine reserves at seascape scales. *Biological conservation*, 128, 215–222.
- Muñera, J.C., Vélez, J.I., Poveda, G., Posada, J.E., Montoya, J.D., y Cardona, Y.M. 2003. Dinámica hidrológica de la ciénaga grande de Santa Marta. *Avances en recursos hidráulicos*, (10), 47-62
- Muñoz-García. L. M. 2015. Evaluación del estado fitosanitario del bosque de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Trabajo de grado (Facultad Ingeniería Ambiental). Universidad del Magdalena. 61 p.
- Murcia-Riaño, M., Ricaurte-Villota, C., Ordoñez-Zuñiga A., & Bastidas Salamanca. 2017. Capítulo 2 Región 1: Sistema de la Guajira. PP (34-47) En Ricaurte-Villota, C. y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.). 2017. Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del

- Caribe. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés (INVEMAR). Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR #14. Santa Marta, Colombia 180 p.
- Murillo-Sandoval PJ, Fatoyinbo L and Simard M (2022) Mangroves Cover Change Trajectories 1984-2020: The Gradual Decrease of Mangroves in Colombia. *Front. Mar. Sci.* 9:892946. doi: 10.3389/fmars.2022.892946
- Murray-Roberts, J., A.J. Wheeler, A. Freiwald and S.D. Cairns. 2009. *Cold-Water Corals. The Biology and Geology of Deep-Sea Coral Habitats*. New York: Cambridge University Press.
- Myers, R., & Worm, B. 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature*, 280-283.
- Nakajima, I., Y. Oshima, T. Yasumoto. 1981. Toxicity of Benthic Dinoflagellates in Okinawa. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 47(8), 1029-1033.
- Nambiar, G.R. y Raveendran, K. 2009. Manglicolous marine fungi on *Avicennia* and *Rhizophora* along Kerala Coast (India). *Middle-East Journal of Scientific Research* 4 48–51.
- Nandagiri, L., and Koor, G. M. (2006). Performance evaluation of reference evapotranspiration equations across a range of Indian climates. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 132(3), 238-249.
- Navarrete-Ramírez, S. M. y A. M. Rodríguez-Rincón. (2014). Protocolo Indicador Condición Tendencia Bosques de Manglar (ICTBM). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 67, Santa Marta. 40 p.
- Navarrete-Ramírez, S. M. y A. M. Rodríguez-Rincón. 2014. Protocolo Indicador Condición Tendencia Bosques de Manglar (ICTBM). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 67, Santa Marta. 40 p.
- Navas-Camacho R., D.L. Gil-Agudelo, A. Rodríguez-Ramírez, M.C. Reyes-Nivia and J. Garzón-Ferreira. 2010A. Coral diseases and bleaching on Colombian Caribbean coral reefs. *Rev. Biol. Trop.*, 58 (suplem 1): 95-106.
- Navas-Camacho, R., A. Rodríguez-Ramírez and M.C. Reyes-Nivia. 2010B. Agents of coral mortality on reef formations of the Colombian Pacific. *Rev. Biol. Trop.*, 58 (Suppl. 1): 133-138.
- NGINX. (n.d.). Advanced Load Balancer, Web Server, & Reverse Proxy - NGINX. Retrieved February 14, 2023, from <https://www.nginx.com/>
- Niquil, N., Chaumillon, E., Johnson G.A., B. X., Grami, B., David, V., Bacher, C., . . . Asmus, R. (2012). The effect of physical drivers on ecosystem indices derived from ecological network analysis: Comparison across estuarine ecosystems. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 132-143.
- NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA. National Weather service. Climate Prediction Center. El Niño Southern Oscillation (ENSO). Cold and warm episodes by season. 2017. Disponible en: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)
- ONU. 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Ordoñez, A., Murcia, M., Márquez V., Correa, C., Morales, D., Bastidas, M., Briceño, F., y Ricaurte, C. 2018. Dinámica atmosférica, oceanográfica y geosférica en la zona del bloque de exploración COL10. En *Estudio técnico ambiental de línea base en el área de evaluación COL10, extremo norte del Caribe colombiano*. pp. 39-91.
- Orfila, A., Urbano-Latorre, C. P., Sayol, J. M., Gonzalez-Montes, S., Caceres-Euse, A., Hernández-Carrasco, I., & Muñoz, Á. G. 2021. On the impact of the Caribbean counter current in the Guajira upwelling system. *Frontiers in Marine Science*, 8, 626823.
- Ortiz, J. 2007. Huracanes y tormentas tropicales en el mar Caribe colombiano desde 1900. *Boletín Científico CIOH*. No 25. 54-60. 10.26640/01200542.
- Ortiz, J.C., y Conde, M. 2022. El huracán que pasó sobre la Isla de San Andrés en 1911. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*. 46. 795-806. 10.18257/raccefyn.1743.
- Ortiz-Reyes A., K. Robles-López, L.E. Urrego-Giraldo y M. Romero-Tabarez. 2018. Diversidad e interacciones biológicas en el ecosistema de manglar. *Rev. Cienc.* 22(2):111-127.
- Osorio, J.A., M.J. Wingfield, y J. Roux, 2016: A review of factors associated with decline and death of 36 mangroves, with particular reference to fungal pathogens. *South African Journal of Botany*, 103, 37 295-301.
- Osorno, A., A. S. Rojas-Aguirre, S. Herrera-Fajardo y J. A. Pacheco-Garzón. 2021. Evaluación del estado de los manglares en la isla de San Andrés post ETA e IOTA en el marco de la Operación Cangrejo Negro. Informe Técnico final. Instituto De Investigaciones Marinas Y Costeras “José Benito Vives De Andreis”-INVEMAR, Santa Marta, Colombia. 65 p.
- Osorno, A., A. S. Rojas-Aguirre, S. Herrera-Fajardo y J. A. Pacheco-Garzón. (2021). Evaluación del estado de los manglares en la isla de San Andrés post ETA e IOTA en el marco de la Operación Cangrejo Negro. Informe Técnico final. Instituto De Investigaciones Marinas Y Costeras “José Benito Vives De Andreis”-INVEMAR, Santa Marta, Colombia. 65 p.
- Ospino-Sepulveda L.J., C. García-Valencia, D. C. Romero-D’Achiardi, J. J. Pizarro-Pertúz, D. M. Hernández-Narváez y A. P. Zamora-Bornachera. 2020. Los espacios oceánicos y zonas costeras e insulares de Colombia. (Pp. 18-28). En: INVEMAR. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 183 p.

- Page, S. E., J. O. Rieley, y C. J. Banks. 2010. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology* 17: 798- 818.
- Paramo, J., & Saint-Paul, U. 2010. Morphological differentiation of Southern Pink shrimp *Farfantepenaeus notialis* in Colombian Caribbean Sea. *Aquatic Living Resources*, 23(1), 95 - 101.
- Páramo, J., Correa, N., & Egurrola, E. 2006. Dinámica de la pesquería del camarón de aguas someras (*Farfantepenaeus notialis*) (Pérez-Farfante, 1967) en el Caribe colombiano. Santa Marta: INCODER.
- Páramo, J., Perez, D., & Wolff, M. 2014. Reproducción del camarón rosado *Farfantepenaeus notialis* (Decapoda: Penaeidae) en el Caribe colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 513 - 521.
- Pearce, I., Handlinger, H. J., and Hallegraeff, G. H. 2005. Histopathology in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) spat caused by the dinoflagellate *Prorocentrum rathymum*. *Harmful Algae* 4, 61-74. doi: 10.1016/j.hal.2003.11.002
- Pandey, P.K., Dabral, P.P., and Pandey, V. 2016. Evaluation of reference evapotranspiration methods for the northeastern region of India. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(1), 52-63.
- Pendleton, L., D.C. Donato, B.C. Murray, S. Crooks, W.A. Jenkins, S. Sifleet & A. Baldera. 2012. Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems.
- Perdomo-Trujillo, L. V., J. E. Mancera-Pineda, J. H. Medina-Calderón, D. A. Sánchez-Núñez y M. L. Schnetter. 2021. Effect of restoration actions on organic carbon pools in the Lagoon-Delta Ciénaga Grande de Santa Marta, colombian Caribbean. *Water*, 13: 1297.
- Perdomo-Trujillo, L. V., J. E. Mancera-Pineda, J. H. Medina-Calderón, D. A. Sánchez-Núñez y M. L. Schnetter. 2021. Effect of restoration actions on organic carbon pools in the Lagoon-Delta Ciénaga Grande de Santa Marta, colombian Caribbean. *Water*, 13: 1297.
- Pérez, L. G., Ferrer, J. J., Bermejo, Á. I., Mejía, Y. K., Romero, G. F., y Álvarez-Silva, Ó. 2022. Advances in the study of coastal processes in the continental Colombian Caribbean coast. *Regional Studies in Marine Science*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102209>.
- Perez, R. C., Foltz, G. R., Lumpkin, R., Wei, J., Voss, K. J., Ondrusek, M., Wang, M., & Bourassa, M. A. 2023. Oceanographic buoys: Providing ocean data to assess the accuracy of variables derived from satellite measurements. *Field Measurements for Passive Environmental Remote Sensing: Instrumentation, Intensive Campaigns, and Satellite Applications*, 79–100. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823953-7.00022-8>
- Petticrew, M., & Roberts, H. 2006. *Systematic Reviews in the Social Sciences. A Practical Guide*. Blackwell Publishing.
- Picard, N., Henry, M., Mortier, F., Trotta, C., & Saint-André, L. 2012. Using Bayesian model averaging to predict tree aboveground biomass in tropical moist forests. *Forest Science*, 58(1), 15-23.
- Pickering, C., Grignon, J., Steven, R., Guitart, D., & Byrne, J. (2015). Publishing not perishing : how research students transition from novice to knowledgeable using systematic quantitative literature reviews. *Studies in Higher Education*, 40(10), 1756–1769. <https://doi.org/10.1080/03075079.2014.914907>.
- PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2021. De la contaminación a la solución: Una evaluación global de la basura marina y la contaminación por plásticos. 44p. Nairobi. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36965/POLSOLSum\\_SP.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36965/POLSOLSum_SP.pdf)
- Porter, J., P. Dustan, W. Jaap, K. Patterson, V. Kosmynin, O. Meier, M. Patterson and M. Parsons. 2001. Patterns of spread of coral disease in the Florida Keys. *Hydrobiologia*, 460: 1-24.
- Prahl, H. von y H. Erhardt. 1985. Colombia: corales y arrecifes coralinos. FEN COLOMBIA, Bogotá, 295 p.
- Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., & Weyer, N. M. (2019). The ocean and cryosphere in a changing climate. *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*, 1155.
- Posada, B. O.; D. Morales-G. y W. Henao P. 2011. Diagnóstico de la erosión costera del territorio insular colombiano, INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 24, Santa Marta. 112 páginas.
- Posada, B.O. & Henao, W. 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. Serie Publicaciones Especiales No. 13. Santa Marta, Colombia.
- Posada, B.O., Henao, W. y Guzman, G. 2009. Diagnóstico de la erosión y sedimentación en la zona costera del Pacífico colombiano. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 17, Santa Santa Marta, Colombia.
- Poveda, G., y Mesa, O. J. 1996. Las fases extremas del fenómeno ENSO (El Niño y La Niña) y su influencia sobre la hidrología de Colombia. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol XI, Núm. 1. p-21-37.
- Premoli Silva, I. Y Bolli, H.M. 1973. Late cretaceous to Eocene planktonic foraminifera and stratigraphy of the leg 15 sites in the Caribbean sea. En: In: Terence Edgar, N. (Ed.), *Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project 15*. U.S. Government Printing Office, Washington. 499–547 p.
- Principe P., P. Bradley, S. Yee, W. Fisher, E. Johnson, P. Allen and D. Campbell. 2011. *Quantifying Coral Reef Ecosystem Services*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Research Triangle Park, NC. 147 p.

- Quiroz-lobo, Y., Santafé-Patiño, G., Quirós-Rodríguez, J.A. (2022). Bioactividad e identificación de los ácidos grasos de la esponja marina *Tetilla rodriguezi* (Tetractinellida : Tetillidae) en el Caribe colombiano. *Rev. biol. trop* 70, 20–29.
- Ramírez, A. 2001. Monitoreo de los ecosistemas de manglar del Golfo de Morrosquillo. *Ecopetrol*, Bogotá. 69 p + Anexos.
- Ramírez, A. 2012. Evaluación de la estructura de manglar del Golfo de Morrosquillo, programa de monitoreo biológico-ecológico. Informe de campo. *Ecopetrol S.A.*, Bogotá. 58 p.
- RAMSAR. 2017. Informe Misión Ramsar de Asesoramiento No. 82 Sitio Ramsar Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena Ciénaga Grande de Santa Marta (Vol. 2). Bogotá: Informe RAMSAR.
- Rangel-Buitrago, N., Anfuso, G. & Williams, A.T. 2015. Coastal erosion along the Caribbean coast of Colombia: magnitudes, causes and management. *Ocean Coast Manag.* 114:129-144.
- Rangel-Buitrago, N., Williams, A. y Anfuso, G. 2018. Killing the goose with the golden eggs: litter effects on scenic quality of the Caribbean coast of Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 22-38.
- Rashidi, M. A., Jamal, M. H., Hassan, M. Z., Mohd Sendek, S. S., Mohd Sophie, S. L., & Abd Hamid, M. R. (2021). Coastal structures as beach erosion control and sea level rise adaptation in malaysia: A review. *Water*, 13(13), 174
- Raymundo, L., C. Couch and C. Harvell. 2008. Coral disease handbook: guidelines for assessment monitoring and management. Coral Reef Targeted Research and Capacity Building for Management Program. Melbourne, Australia. 121 p.
- Resolución 1263 de 2018. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Minambiente. “Por medio de la cual se actualizan las medidas para garantizar la sostenibilidad y la gestión integral de los ecosistemas de manglar, y se toman otras determinaciones”. Publicada en el Diario Oficial, Edición 50.658 del 18 de julio de 2018.
- Restrepo, J.D., and Kjerfve, B. 2000. Magdalena river: interannual variability (1975–1995) and revised water discharge and sediment load estimates. *Journal of hydrology*, 235(1-2), 137-149.
- Révillon, S., Hallot, E., Ardnt, N.T., Chauvel, C. Y Duncan, R.A. 2000. A complex history for the Caribbean plateau: petrology, geochemistry and geochronology of the Beata Ridge, southern Hispaniola. *J. Geol.* Vol 108. 641–661 p.
- Reyes, J., N. Santodomingo y P. Flórez. 2010. Corales escleractíneos de Colombia. *Invemar, Serie de Publicaciones Especiales*, No. 14. Santa Marta, 246 p.
- Reyna-Fabián, M., Espinoza, A., Seingier, G., Ortiz-Lozano, L., y L. Espejel. 2018. De la evaluación ecológica a la socio-ecológica: la vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante los factores de estrés asociados al cambio climático. *Sociedad y ambiente*, 17, 59-92.
- Ricaurte-Villota, C., Coca-Domínguez, O., González, M.E., Bejarano-Espinosa, M., Morales, D.F., Correa-Rojas, C., Briceño-Zuluaga, F., Legarda, G.A. y Arteaga, M.E. 2018. Amenaza y vulnerabilidad por erosión costera en Colombia: enfoque regional para la gestión del riesgo. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” –INVEMAR. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR # 33. Santa Marta, Colombia. 268 p.
- Rivera, G. 1999. Conceptos introductorios a la fitopatología. Primera reimpresión: editorial universidad estatal a distancia san José Costa Rica, 2007 44-45 p.
- Robblee, M. B., T. R. Barber, P. R. Carlson, M. J. Durako, J. W. Four-qorean, L. K. Muehlstein, D. Porter, L. A. Yarbrow, R. T. Zieman and J. C. Zieman. 1991. Mass mortality of the tropical seagrass *Thalassia testudinum* in Florida Bay (USA). *Marine Ecology Progress Series*, 71: 297–299.
- Robertson, A.I. & Alongi, D.M. 1992. Tropical mangrove ecosystems. American Geophysical Union. Washington DC, USA. pp. 329.
- Rodríguez - Rincón, A., Navarrete-Ramírez, S., Gómez - López, D., y Navas-Camacho, R. (2014). Protocolo Indicador Condición Tendencia Áreas Coralinas (ICTAC). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Serie de Publicaciones Generales del Invemar, 66 pp.
- Rodríguez, A., Rueda, M., Viaña, J., García, C., Rico, F., García, L., & Girón, A. 2012. Evaluación y Manejo de la pesquería de camarón de aguas profundas en el Pacífico colombiano 2010-2012. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR.
- Rodríguez, F., Riobó, P., Crespín, G.D., Daranas, A.H., de Vera, C.R., Norte, M., Fernández, J.J., Fraga, S. 2018. The toxic benthic dinoflagellate *Prorocentrum maculosum* Faust is a synonym of *Prorocentrum hoffmannianum* Faust. *Harmful Algae* 78, 1-8.
- Rodríguez, F., Riobó, P., Crespín, G.D., Daranas, A.H., de Vera, C.R., Norte, M., Fernández, J.J., Fraga, S., 2018. The toxic benthic dinoflagellate *Prorocentrum maculosum* Faust is a synonym of *Prorocentrum hoffmannianum* Faust. *Harmful Algae* 78, 1-8.
- Rodríguez, W., Duque, C., Zea, S., Castellanos, L., Ramos, F., Forero, A.M., Osorno, O.(2021). Ocean and Coastal Phospholipid fatty acids from Colombian Caribbean sea sponges. *Ocean Coast. Res.* 1–12. <https://doi.org/10.1590/2675-2824069.21-005wr>
- Rodríguez-Ramírez, A., M. C. Reyes-Nivia, S. Zea, R. Navas-Camacho, J. Garzón-Ferreira, S. Bejarano, P. Herrón and C. Orozco. 2010. Recent dynamics and condition of coral reefs in the Colombian Caribbean. *Rev. Biol. Trop.*, 58 (Suppl. 1): 107 – 131.
- Rodríguez-Rincón, A., S. Navarrete-Ramírez, D. Gómez-López y R. Navas-Camacho. 2014. Protocolo Indicador Condición Tendencia Áreas Coralinas (ICTAC). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Serie de Publicaciones Generales del Invemar, 66. Santa Marta. 52 p.
- Rodríguez-Rodríguez, J. A., J. F. Blanco-Libreros y L. F. Espinosa. 2022. Los ecosistemas de manglar en Colombia y sus causas de deterioro. pp. 18-27. En: Rodríguez-Rodríguez, J. A. (Ed). *La restauración de los manglares en Colombia: Técnicas, saberes y experiencias*. Serie Publicaciones Generales No. 123 de Invemar, Santa Marta, Colombia. 176 p.

- Rodríguez-Rodríguez, J. A., P. C. Sierra-Correa, M. C. Gómez-Cubillos y L. V. Villanueva. 2016. Mangroves of Colombia. En: C. M. Finlayson, G. R. Milton, R. C. Prentice y N. C. Davidson (Eds). *The Wetland Book: II: Distribution, Description and Conservation*, 1-10. Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6173-5\\_280-2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6173-5_280-2)
- Rodríguez-Rodríguez, J.A. (Ed.) 2022. La restauración de los manglares en Colombia: Técnicas, saberes y experiencias. Serie Publicaciones Generales No. 123 de Invemar, Santa Marta, Colombia. 176 p.
- Rodríguez-Rodríguez, J.A., Gonzalez-Polo, D., Rodríguez, J.M., & Rodríguez Otero, R. 2014. Manual de usuario del sistema de información para la gestión de los manglares de Colombia-SIGMA. Santa Marta.
- Rodríguez-Zurrunero, A., Granja-Bruña, J. L., Muñoz-Martín, A., Leroy, S., Ten Brink, U., Gorosabel-Araus, J. M. Y Carbó-Gorosabel, A. 2020. Along-strike segmentation in the northern Caribbean plate boundary zone (Hispaniola sector): Tectonic implications. *Tectonophysics*, 776, 228322.
- Rojas Giraldo, X., Sierra-Correa P.C., Lozano-Rivera P., López Rodríguez A. 2010. Guía metodológica para el manejo integrado de las zonas costeras en Colombia, manual 2: planificación de la zona costera. Serie de Documentos Generales INVEMAR No.44, 74 p
- Romero L. M., Smith T. J. III. y Fourqurean J. W. 2005. Changes in mass and nutrient content of wood during decomposition in a south Florida mangrove forest. *J. Ecol.* 93:618–31.
- Romero-Rodríguez, D.A., Peña-Mejía, C., Ordóñez-Zúñiga, A., y Ricaurte-Villota, C. 2017. Región 6: Ciénaga Grande de Santa Marta, río Magdalena, Bolívar. En: *Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe*. pp. 106-126. Instituto De Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis (INVEMAR).
- Rosenberg, A. A., Swasey, J. H., & Bowman, M. 2006. Rebuilding US fisheries: progress and problems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(6), 303-308.
- Rosenberg, E. y Ben-Haim. 2002. Microbial diseases of corals and global warming. *Environ. Microbiol.*, 4 (6): 318-326.
- Rueda, M., & Defeo, O. 2003. Spatial structure of fish assemblages in a tropical estuarine lagoon: combining multivariate and geostatistical techniques. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 296(1), 93-112. doi:10.1016/S0022-0981(03)00319-8
- Rueda, M., Angulo, J. A., Madrid, N., Rico, F., & Girón, A. (2006). La pesca industrial de arrastre de camarón en aguas someras del Pacífico colombiano: su evolución, problemática y perspectivas hacia una pesca responsable. Santa Marta: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR.
- Rueda, M., Blanco, J., Narváez, J. C., Viloria, E., Newmark, F., & Santos-Acevedo, M. (2004). Estado de los recursos sometidos a explotación. En *INVEMAR, Informe del Estados de los Ambientes Marinos y Costeros 2003*. (Vol. 8, págs. 261-284). Santa Marta: Serie de Publicaciones Periódicas del INVEMAR.
- Rueda, M., Rico-Mejía, F., Angulo, W., Girón, A., Rodríguez, A., García, L., & Arenas, L. (2010). Evaluación biológico-pesquera del estado de las poblaciones de camarón de aguas profundas, mediante la aplicación de métodos directos (prospección pesquera) e indirectos (estadísticas de captura y esfuerzo) en el Pacífico colombiano. Santa Marta: INVEMAR-MADR.
- Ruiz-Moreno, D., B. L. Willis, A. C. Page, E. Weil, A. Cróquer, B. Vargas-Ángel, A. G. Jordan-Garza, E. Jordán-Dahlgren, L. Raymundo and C. D. Harvell. 2012. Global coral disease prevalence associated with sea temperature anomalies and local factors. *Dis. Aquat. Org.*, 100: 249–261
- Saenger, P. 2002a. Mangrove Silviculture and Restoration, *Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation*, Dordrecht. Springer, Netherlands. 229-270 p.
- Saenger, P. 2002b. The Value of Mangroves. In: *Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation*. Springer, pp. 207–228.
- Salamanca, M.L.B. & Zúñiga, S.A.O. & Ricaurte-Villota, Constanza. (2016). Events of wind intensification and relaxation in the Bay of Santa Marta (Colombian Caribbean): Oceanographic implications. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 45. 181-196.
- Salamanca, M.L.B., Zúñiga, S.A.O. y Ricaurte-Villota, Constanza. 2016. Events of wind intensification and relaxation in the Bay of Santa Marta (Colombian Caribbean): Oceanographic implications. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 45. 181-196.
- Salas-Salazar, L., 2016. Conflicto armado y configuración territorial: elementos para la consolidación de la paz en Colombia. *Bitacoras* 26(2), 45-57. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v26n2.57605>
- Salazar-Vallejo, S. I. 2002. Huracanes y Biodiversidad Costera Tropical. *Rev. Biol. Trop.* 50(2): 415- 428.
- Sánchez-Alfárez, A., R. Álvarez-León, S. Carvalho y O. Pinzón-Florirán. 2009. Aspectos fitosanitarios de los manglares del Uraba Antioqueño, Caribe colombiano. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 4(3): 339-346.
- Sánchez-Cabeza, J. A. y Ruíz-Fernández, A.C. 2012. 210Pb sediment radiochronology: An integrated formulation and classification of dating models. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 82, 183 200.
- Sánchez-Páez, H., R. Álvarez-León, F. Pinto-Nolla, A. Sánchez-Alfárez, J. Pino-Rengifo, I. Acosta-Peñalosa y M. T. García-Hansen. 1997. Diagnóstico y zonificación preliminar de los manglares del Caribe de Colombia. *MinAmbiente y OIMT*. Bogotá D. C. 511 p.
- Sánchez-Sánchez, O. y G. A. Islebe. (1999). Hurricane Gilbert and structural changes in a tropical forest. *Global Ecology and Biogeography*, 8: 29-38.
- Santos, F., Gómez-Gesteira, M., Varela, R., Ruiz-Ochoa, M., & Días, J. M. 2016. Influence of upwelling on SST trends in La Guajira system. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(4), 2469-2480.

- Sar, E. A., M. E. Ferrario y B. Reguera. 2002. Floraciones algales nocivas en el cono sur americano. Instituto Español de Oceanografía. 311 p.
- SDI-12 Support Group. (2021). SDI-12 A Serial-Digital Interface Standard for Microprocessor-Based Sensors. [www.sdi-12.org](http://www.sdi-12.org)
- Seddon, N., Hou-Jones, X., Pye, T., Reid, H., Roe, D., Mountain, D., & Rizvi, A. R. (2016). Ecosystem-Based Adaptation: A Win-Win Formula For Sustainability in A Warming World?. International Institute for Environment and Development.
- Sejjo, J. C., Defeo, O., & Salas, S. (1998). Fisheries bioeconomics. Theory, modelling and management. Roma: FAO.
- Selvaraj J, Gallego Pérez B An enhanced approach to mangrove forest analysis in the Colombian Pacific coast using optical and SAR data in Google Earth Engine. Remote Sensing Applications: Society and Environment (2023) 30 100938
- Semedo, A., Sušelj, K., Rutgersson, A., & Sterl, A. (2011). A global view on the wind sea and swell climate and variability from ERA-40. Journal of Climate, 24(5), 1461-1479.
- Semana sostenible. 2019. Cuatro playas colombianas fueron certificadas por gestión ambiental. Semana. Recuperado el 24 de febrero de 2021 de <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/playas-colombianas-fueron-galardonadas-por-gestion-ambiental/46931>.
- Serna, L. M., Arias, P. A., y Vieira, S. C. 2018. Las corrientes superficiales de chorro del Chocó y el Caribe durante los eventos de El Niño y El Niño Modoki. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 42(165), 410-421. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.705>.
- Serrano, O., D. I. Gómez-López, L. Sánchez-Valencia, A. Acosta-Chaparro, R. Navas-Camacho, J. González-Corredor, C. Salinas, P. Masque, C. A. Bernal & N. Marbà. 2021. Seagrass blue carbon stocks and sequestration rates in the Colombian Caribbean. Scientific Reports 11:11067 | <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90544-5>
- Serrano-Díaz, L., L. Botero, P. Cardona, y J. E. Mancera-Pineda. 1995. Estructura del manglar en el delta exterior del río Magdalena-CGSM, una zona tensionada por alteraciones del equilibrio hídrico. Bol. Invest. Mar. Cost. 24: 135-164.
- Short, F., T. Carruthers, W. Dennison & M. Waycott. 2007. Global seagrass distribution and diversity: a bioregional model. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 350(1-2), 3-20.
- Shribman, Z. 2021. Blue carbon in South Florida's Mangroves: The role of large roots and necromass. LSU Master's Theses.
- Sierra-Correa, P. C. y J. R. Cantera. 2015. Ecosystem-based adaptation for improving coastal planning for sea-level rise: A systematic review for mangrove coasts. Marine Policy, 51: 385-393.
- Soanes, L. M., Pike, S., Barker, D., Butt, C., John, L., Medcalf, K., & Mukhida, F. (2023). Opportunity mapping for nature-based solutions: Mitigating storm surge and land erosion in the Caribbean. Nature-Based Solutions, 4, 100095.
- Souter, D., S. Planes, J. Wicquart, M. Logan, D. Obura, F. Staub. 2021. Status of coral reefs of the world: 2020 report. Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN)/International Coral Reef Initiative (ICRI). Accessed: <https://gcrmn.net/2020-report/Spalding, M., M. Kainuma y L. Collins. 2010. World atlas of mangroves. Earthscan. 319 p.>
- Spalding, M. D. y M. Leal (Eds). 2021 The State of the World's Mangroves 2021. Global Mangrove Alliance. 79 p.
- Stark, J.D., Donlon, C.J., Martin, M.J., and McCulloch, M.E. (2007). OSTIA : An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system., Oceans 07 IEEE Aberdeen, conference proceedings. Marine challenges: coastline to deep sea. Aberdeen, Scotland.IEEE.
- Steer, R., F. Arias, A. Ramos, P. Aguirre, P. Sierra y D. Alonso. 1997. Documento preliminar de políticas de ordenamiento ambiental de las zonas costeras colombianas, Bogotá, Colombia. 413 p.
- Sutherland, K., J. Porter and C. Torres. 2004. Diseases and immunity in Caribbean and Indo-Pacific zooxanthellate corals. Mar. Ecol. Prog. Ser., 266: 273-302
- Tam, J., Link, J., Rossberg, A., Rogers, S., Levin, P., Rochet, M., . . . Van de Wolfshaar, K. (2017). Towards ecosystem-based management: identifying operational food-web indicators for marine ecosystems. ICES Journal Marine Science 74 (7), 2040-2052
- Tanner, E. V. J., V. Kapos y R. Healey. (1991). Hurricane effects on forest ecosystems in the Caribbean. Biotropica, 23: 513-521.
- The Plant List. 2013. Pelliciera rhizophorae Planch. & Triana (familia Tetrameristaceae). <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/tro-31600185> Downloaded on 18 February 2019.
- Thermo Fisher Scientific. (n.d.). DataTaker Data Loggers - CO. Retrieved February 13, 2023, from <https://www.thermofisher.com/ht/en/home/industrial/manufacturing-processing/data-acquisition.html>
- Thomas, Y., Ricaurte-Villota, C., Coca, O. (2014). Atlas climatológico del océano Pacífico colombiano y áreas adyacentes. Invemar, Santa Marta.
- Tichadou, L., Glaizal, M., Armengaud, A., Gossel, H., Lemée, R., Kantin, R., Lasalle J. L., Drouet, G., Rambaud, L., Malfait, P., De Haro, L., 2010. Health impact of unicellular algae of the Ostreopsis genus blooms in the Mediterranean Sea: experience of the French Mediterranean coast surveillance network from 2006 to 2009. Clin. Toxicol. 48, 839-844.
- Tindall, D. R., Miller D. M and Bomber J. W. 1989. Culture and toxicity of dinoflagellates from ciguatera endemic regions of the world. Toxicom 27:83.
- Tomlinson, P.B. 1986. The botany of mangroves. Cambridge tropical biology series. Cambridge University Press, Cambridge. 419 p.

- Trinchin, R., Manta, G., Santana, R., Rubio, L., Horta, S., Passadore, C., Mello, C. de, Szephegyi, M. N., & Barreiro, M. (2020). Hacia un monitoreo continuo de variables oceanográficas en el Parque Nacional Isla de Flores, Uruguay. *INNOTEC*, 21(21 ene-jun), 89–108. <https://doi.org/10.26461/21.03>
- Trópicos. 2018. *Pelliciera rhizophorae* Planch. & Triana (familia Tetrameristaceae). <https://www.tropicos.org/name/40003234> Downloaded on 18 February 2019.
- Ulloa-Delgado, G., H. Sánchez-Páez, W. Gil-Torres, J. Pino-Rengifo, H. Rodríguez-Cruz y R. Álvarez-León. 1998. Conservación y uso sostenible de los manglares del Caribe colombiano., Proyecto PD 171/91 Rev. 2 Fase II (Etapa I) Conservación y Manejo para el Uso Múltiple y el Desarrollo de los Manglares en Colombia. 224 p.
- UNEP. 2020. Out of the Blue, The Value of Seagrasses to the Environment and to People. United Nations Environment Programme; GRID-Arendal; United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre.
- UNESCO-COI. 2019. La ciencia que necesitamos para el océano que queremos: El Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible (2021–2030). (inglés) Folleto COI 2018-7 (IOC/ BRO/2018/7 Rev). París. 24 p.
- Unión Europea. 2006. Directiva (UE) 2006/7/EC del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 febrero
- United Nations, European Commission, Food and Agricultural Organization of the United Nations, International Monetary Fund, Organization for Economic Co-operation and Development, World Bank, & U. N., ... Banco Mundial. 2014. System of Environmental-Economic Accounts 2012 Experimental Ecosystem Accounting. Nueva York: United Nations.
- United Nations. 2009. Practical guide to producing consumer prices indices (Vol. 1). [https://unece.org/fileadmin/DAM/stats/publications/Practical\\_Guide\\_to\\_Producing\\_CPI.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/stats/publications/Practical_Guide_to_Producing_CPI.pdf)
- Van Andel, T. H. 1973. Texture and dispersal of sediments in the Panama Basin. *The Journal of Geology*, 81(4), 434-457.
- Van Andel, T. H., Heath, G. R., Malfait, B. T., Heinrichs, D. F., Y Ewing, J. I. 1971. Tectonics of the Panama Basin, eastern equatorial Pacific. *Geological Society of America Bulletin*, 82(6), 1489-1508.
- Vanegas J., M. Gnecco, E.M. Alvarado Chacón, V. Pizarro, M.F. Maya. Ed. J. Prato, A. Santos-Martínez. 2022. SECCIÓN V. Documento técnico protocolo de respuesta y restauración post huracán para ecosistemas: Arrecifes de coral. Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe – CORALINA. San Andrés Isla.
- Vergara y G, Méndez CR, Morante HY, Heredia VI, Béjar VR. 2007. Enterococcus y Escherichia coli como indicadores de contaminación fecal en playas costeras de Lima. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minería, Metalúrgica y Geográfica*. 10(20): 6-82.
- Vernette, G. 1985. La plateforme continentale Caraïbe de Colombie (du débouche du Magdalena au golfe de Morrosquillo). Importance du diapirisme arigileux sur la morphologie et la sédimentation. Tesis Doctoral (Ciencias), Universidad de Bordeaux –I. 378 p.
- Vides, M., Sierra-Correa, P., Arias-Isaza, F. 2008. Adaptación costera al ascenso en el nivel del mar, fomentando la capacidad de adaptación de San Andrés de Tumaco. NCAP II Colombia: “Construcción de Capacidad para mejorar la adaptabilidad al aumento en el nivel del mar en dos puntos vulnerables (Tumaco-Costa Pacífico y Tumaco-Costa Caribe) en las zonas costeras colombianas”. INVEMAR. ETC Project number: 032135.
- Villamil, C. 2014. Lineamientos Nacionales para la restauración de ecosistemas de manglar y justificación técnica. Informe Final Convenio de asociación No. 156 de 2014 suscrito entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales, Bogotá, Colombia. 62 p.
- Viloria, E. 2017. Hojas metodológicas de los indicadores resultantes de un monitoreo pesquero usando el sistema de información pesquera de Invemar – SIPEIN Ciénaga Grande de Santa Marta Versión 2.0. [https://alfresco.invemar.org.co/share/s/Wm4Nr0EoSwwP0ZDp\\_KALw](https://alfresco.invemar.org.co/share/s/Wm4Nr0EoSwwP0ZDp_KALw)
- Vivas-aguas J., Castillo Viana M. y P. Obando-Madera. 2022a. Ficha metodológica índice de calidad de aguas marinas y costeras ICAM. Versión 5. Santa Marta D.T.C.H., Colombia. 14 p.
- Vivas-Aguas, J. L., M. Vargas-Morales, K. Guillen Oñate, M. Villarraga y D. Sánchez. 2014. Vulnerabilidad de la población costera frente a la contaminación orgánica y microbiológica en la bahía de Buenaventura. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 76, Santa Marta. 24 p.
- Vivas-Aguas, L.J. 2011. Formulación del índice de calidad de aguas costeras (ICAM) para los países del Pacífico Sudeste. Documento Metodológico. Proyecto - SPINCAM. Santa Marta. 40 p.
- Vivas-Aguas, L.J., K. Ibarra, J. Sánchez, M. Martínez, Y. Nieto, Y. Moreno, I. Cuadrado, P. Obando, O. Garcés, D. Sánchez, M. Villarraga, y O. Sierra. 2015. Diagnóstico y Evaluación de la calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar No. 4 (2015). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe técnico 2014. Invemar, Santa Marta. 320 p.
- Vivas-Aguas, L.J., Obando-Madera P.S., Córdoba-Meza T.L., Castillo-Viana M.J., Espinosa L.F., Arriaga-Rodríguez A.M., Acosta-Rivera, J.A. 2022b. Boletín estadístico Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras – ICAM. Reporte año 2021. INVEMAR. Santa Marta. 28 p.
- Waddell, K. L. 2002. Sampling coarse woody debris for multiple attributes in extensive resource inventories. *Ecological indicators*, 1: 139-153.
- Wagreich, M. 2012. Oae 3 - regional Atlantic organic carbon burial during the Coniacian–Santonian. *Clim. Past* 8, 1447–1455 p.

- Wang, C., and Fiedler, P.C. (2006). ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* Volume 69, Issues 2–4, May–June 2006, Pages 239-266. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.004>
- Waycott, M., C.M. Duarte, T.J.B. Carruthers, R.J. Orth., W.C. Dennison, S. Calladine, J.W. Fourqurean, F. Short y S.L. Williams. 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, 12377-12381.
- Weatherall, P., Marks, K. M., Jakobsson, M., Schmitt, T., Tani, S., Arndt, J. E., ... & Wigley, R. 2015. A new digital bathymetric model of the world's oceans. *Earth and space Science*, 2(8), 331-345.
- Whigham, D. F., I. Olmsted, E. Cabrera-Cano y M. E. Harmon. (1991). The impact of hurricane Gilbert on trees, litterfall, and woody debris in dry tropical forest in the northeastern Yucatan peninsula. *Biotropica*, 23: 434-441.
- Williamson, P., y Gattuso, J. 2022. Carbon removal using coastal blue carbon ecosystems is uncertain and unreliable, with questionable climatic cost-effectiveness. *Frontiers in Climate*, 4.
- Woodroffe, C. D., K. Rogers, K. L. McKee, C. E. Lovelock, I. A. Mendelssohn y N. Saintilan. 2016. Mangrove Sedimentation and Response to Relative Sea-Level Rise. *Annual Review of Marine Science*, 8(1): 243-266.
- Ximenes, A.C.; Cavanaugh, K.C.; Arvor, D.; Murdiyarso, D.; Thomas, N.; Arcoverde, G.F.B.; da Conceição Bispo, P.; Van der Stocken, T. A comparison of global mangrove maps: Assessing spatial and bioclimatic discrepancies at poleward range limits. *Sci. Total Environ.* 2022.
- Yañez-Arancibia, A., J. W. Day, R. R. Twilley, R. H. Day. 2014. Mangrove swamps: sentinel ecosystem in front of the climate change, Gulf of Mexico. *Madera y Bosques*, 20(3): 39-75.
- Yepes, A., M. Zapata, J. Bolívar, A. Monsalve, S.M. Espinosa, P.C. Sierra-Correa y A. Sierra. 2016. Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para la estimación de los contenidos de carbono en manglares del Caribe Colombiano. *Revista Biología Tropical*, 64(2), pp. 9
- Zhang, H., Li, Y., Cen, J., Wang, H., Cui, L., Dong, Y., Lu, S., 2015. Morphotypes of *Prorocentrum lima* (Dinophyceae) from Hainan Island, South China Sea: morphological and molecular characterization. *Phycologia* 54, 503–516.