

PROYECTO

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA COMO SOPORTE A LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO- CRA EN LA ZONA COSTERA DEL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. CV 004 DE 2024 CRA- INVEMAR
Informe Técnico Final – ITF – PRY-CAM – 007-24



Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andrés" -
INVEMAR

Santa Marta, diciembre de 2024



INFORME TÉCNICO DE AVANCE

Director General

Francisco A. Arias Isaza

Subdirector Coordinación Científica (SCI)

Jesús Antonio Garay Tinoco

Coordinadora Coordinación de Investigación e Información para Gestión Marina y Costera (GEZ)

Paula Cristina Sierra Correa

Coordinador Coordinación de Servicios Científicos (CSC)

Juan Carlos Márquez

Coordinador Programa Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)

David Alonso Carvajal

Coordinador Programa Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos y Costeros (VAR)

Mario Rueda Hernández

Coordinadora Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)

Luisa Fernanda Espinosa

Coordinadora Programa Geociencias Marinas y Costeras (GEO)

Constanza Ricaurte

Subdirectora Administrativa (SRA)

Sandra Rincón Cabal

PREPARADA POR:

Equipo técnico INVEMAR

Programa CAM

Joel Pacheco Perea
Tania Córdoba Meza
Lizbeth Janet Vivas-Aguas
Laura Sofía Coral Chamorro
Carlos Andrés Pacheco Vélez
Paola Sofía Obando Madera
Jair José Valdés Carrascal
Laura Paola Fragozo Velásquez
Luisa Fernanda Espinosa Díaz

Apoyo Técnico

Línea de Prevención y Protección de los Ecosistemas Marinos y Costeros – PEM

Manuel Arcila Rodríguez

Unidad de laboratorios de Calidad Ambiental Marina- LABCAM

César Augusto Bernal
Lina Gabriela Ortiz Muñoz
Evaristo José Espinosa
Gustavo Adolfo Lara Ospino
Kelvin José Varela Cabello
Álvaro Andrés Robles Scott

Programa BEM

Andrés Felipe Acosta Chaparro
Shanly Coneo Gómez
Raúl Navas Camacho
Laura Sánchez Valencia
Diana Isabel Gómez López

Programa GEO

Constanza Ricaurte Villota
Marco Elías González Arteaga
Johan Camilo Casadiego Estévez
Jorge Andrés Díaz Rentería
Ana María Osorio Granada
Laura Martínez Lacharme
Laura Natalia Botero Vinasco
David Fernando Morales Giraldo

Equipo Técnico CRA

Efraín Leal Puccini
Yury Calderón Urrego
Ayari María Rojano

Citar como:

Este informe deberá ser citado de la siguiente manera:

a) Si cita todo el informe: INVEMAR-CRA. 2024. Generación de información técnico-científica como soporte a la gestión ambiental de la corporación autónoma regional del Atlántico- CRA en la zona costera del departamento del Atlántico

b) Si cita un capítulo: Autor(es). Año. Nombre del capítulo. pp. En: Informe.

Foto portada: Actividades técnicas del convenio 004-2024

Calle 25 No. 2 -55 Playa Salguero – Rodadero, Santa Marta, Colombia. PBX: (57) (5) 4328600
Fax: (57) (5) 4380801, <http://www.invemar.org.co>

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GENERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	RESUMEN ACTIVIDADES DESARROLLADAS.....	17
4	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MARINA Y COSTERA EN EL DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO Y OPERACIÓN DEL NODO REDCAM.....	18
4.1	REDCAM	18
4.2	ÁREA DE ESTUDIO	19
4.3	METODOLOGÍA.....	21
4.3.1	Calidad de aguas y sedimentos	21
4.3.2	Basura Marina y microplásticos.....	27
4.4	RESULTADOS.....	29
4.4.1	Calidad de aguas marinas y costeras	29
4.4.2	Calidad de sedimentos y arena de playa.....	41
4.4.3	Contaminación por basura marina y microplásticos en playas turísticas	45
4.4.4	Actualización del sistema de información REDCAM	50
4.4.5	Curso Taller REDCAM 2024.....	56
4.5	CONCLUSIONES.....	56
5	UBICACIÓN, EXTENSIÓN, ESTABLECIMIENTO DE LA CONDICIÓN ACTUAL DEL ECOSISTEMA CORALINO EN LA ENSENADA DE PUERTO VELERO.....	57
5.1	ÁREA DE ESTUDIO	57
5.1.1	Localización	57
5.1.2	Geología	58
5.1.3	Geomorfología.....	61
5.2	METODOLOGÍA.....	64
5.2.1	Determinación de la ubicación y extensión de corales.....	64
5.3	RESULTADOS.....	68
5.3.1	Procesamiento de los datos de sonar de barrido lateral	68
5.3.1	Morfología del fondo.....	70
5.3.2	Determinación de la ubicación y extensión de corales.....	71
5.3.3	Identificación de la condición actual de corales	80
5.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
6	PROPUESTA DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL FRENTE A LOS FACTORES DE DEGRADACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS EN EL	

DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO, Y DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE ALFABETIZACIÓN OCEÁNICA.....	86
6.1 METODOLOGÍA.....	86
6.1.1 Zona de estudio.....	86
6.2 METODOLOGÍA.....	87
6.2.1 Identificación de factores de degradación y valoración de potenciales impactos	87
6.2.2 Propuesta de medidas de prevención y protección ambiental	92
6.2.3 Alfabetización oceánica para la apropiación social del conocimiento marino	97
6.3 RESULTADOS.....	99
6.3.1 Identificación de factores de degradación y valoración de potenciales impactos	99
6.3.2 Propuesta de medidas de prevención y protección ambiental	111
6.3.3 Alfabetización oceánica para la apropiación social del conocimiento marino	116
6.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
7 SEGUIMIENTO A LA EROSIÓN COSTERA Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS	129
7.1 METODOLOGÍA.....	129
7.1.1 Alternativa de solución híbrida basada en la naturaleza.....	129
7.1.2 Seguimiento a la erosión costera y cambios geomorfológicos del departamento del Atlántico.	137
7.2 RESULTADOS.....	141
7.2.1 Alternativa de solución híbrida basada en la naturaleza.....	141
7.2.2 Seguimiento a la erosión costera y cambios geomorfológicos del departamento del Atlántico	164
7.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	179
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	181
9 ANEXOS.....	194

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1. Mapa con la ubicación de las estaciones de muestreo de la REDCAM del departamento de Atlántico. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, los puntos bicolores (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimentos sumergidos, y los puntos color fucsia corresponden a las estaciones de toma de muestras de microplásticos en arena de playa. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo. Fuente: Laboratorio de Servicios de Información – INVEMAR.	20
Figura 4-2. Actividades de muestreo realizadas en la salida de campo REDCAM Atlántico. Recolección de muestras de calidad de agua y sedimentos en Ciénaga de Balboa (A), Rincón Hondo (B), estación Las Flores (C) y Playa Santa Verónica (D) para el diagnóstico de calidad de aguas y sedimentos. Fotos: Programa CAM – INVEMAR.	22
Figura 4-3. Recolección de muestras para el análisis basura marina y microplásticos en arena de playas (A y B). Fotos: Programa CAM – INVEMAR.	28
Figura 4-4. Especificaciones de cuadrantes estandarizados usados en la recolección de basura marina (A) y microplásticos (B) en arena de playas. Fotos: Programa CAM – INVEMAR.	28
Figura 4-5. Valores de salinidad medidos durante la salida de campo REDCAM Atlántico año 2024.	29
Figura 4-6. Variación histórica (2001- 2024, sin año 2020) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM del departamento de Atlántico, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. El ancho de la caja es proporcional al número de datos. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).	30
Figura 4-7. Calidad de agua superficial ICAM _{PFF} para época seca (muestreo en septiembre) del 2024, en las estaciones marinas y costeras del departamento del Atlántico.	31
Figura 4-8. Carbono orgánico total (COT) de las muestras de agua recopiladas en época seca (muestreo en septiembre) del 2024 en el departamento del Atlántico.	33
Figura 4-9. Concentración de Hidrocarburos del petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de Criseno (HPDD) en el agua superficial de las estaciones del departamento del Atlántico durante los muestreos en septiembre de 2024.	34
Figura 4-10. Valores de oxígeno disuelto (OD) medidos durante la salida de campo REDCAM Atlántico. ...	35
Figura 4-11. Valores de pH medidos durante la salida de campo REDCAM Atlántico.	36
Figura 4-12. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Atlántico durante la salida de campo del 9 al 11 de septiembre de 2024. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permisible.	37

- Figura 4-13. Concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Atlántico durante la salida de campo del 9 al 11 de septiembre de 2024. El valor de referencia corresponde a 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL) para EFE. Línea roja V.R: Valor de referencia. 38
- Figura 4-14. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Atlántico. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% ($\geq 50\%$ y $< 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Bajo, cuando menos del 50% ($< 50\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. L.P: Límite Permissible. V.R: Valor de referencia. 39
- Figura 4-15. Concentración de metales disueltos en agua en las estaciones de agua dulce del departamento del Atlántico, colectadas en septiembre del 2024. De acuerdo con lo de la desvet. Sin embargo, se dejó así para presentar la información de forma homogénea con los resultados de los demás países.. Los valores de referencia para efectos crónicos y efectos agudos se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). Las líneas verticales rojas representar los valores de referencia para efectos crónicos y las de color azul para efectos agudos. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM. NM: No medido... 40
- Figura 4-16. Concentración de metales disueltos en agua en las estaciones de agua dulce del departamento del Atlántico, colectadas en septiembre del 2024. Los valores de referencia para efectos crónicos y efectos agudos se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). Las líneas verticales rojas representar los valores de referencia para efectos crónicos y las de color azul para efectos agudos. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM. NM: No medido. 40
- Figura 4-17. Curva granulométrica de las muestras de sedimentos recopiladas en el 2024 (septiembre), en la estación Puerto Velero y Base Naval-17 en el departamento del Atlántico. 41
- Figura 4-18. Tamaño medio de partícula del sedimento (μm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en septiembre del año 2024, en el departamento del Atlántico. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957). 42
- Figura 4-19. Logaritmo de la concentración de Coliformes termotolerantes (CTE), Coliformes totales (CTT) y Enterococos fecales (EFE) en las matrices de agua y sedimento en las tres estaciones REDCAM Atlántico durante la salida de campo del 9 al 11 de septiembre de 2024. 44
- Figura 4-20. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos (P. Velero) y fluviales (Base Naval – 17) recopilados en septiembre de 2024 (época seca) en el departamento del Atlántico. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino y fluviales. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM. NM: No medido. 45

Figura 4-21. Actividades antrópicas (A) y basura marina (B) en la playa Puerto Colombia en el departamento del Atlántico, registrada en septiembre de 2024.....	46
Figura 4-22. Abundancia de basura marina en las playas turísticas priorizadas del departamento del Atlántico, registrada en los muestreos llevados a cabo el 11 de septiembre de 2024.	47
Figura 4-23. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de basura marina caracterizada en las playas turísticas del Atlántico, evaluadas a partir de los muestreos realizados el 11 de septiembre de 2024.	48
Figura 4-24. Objetos y accesorios plásticos (A y B) encontrados en las playas turísticas priorizadas del departamento del Atlántico, recolectados en los muestreos llevados a cabo el 11 de septiembre de 2024.....	48
Figura 4-25. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playas priorizadas del Atlántico, colectadas el 11 de septiembre de 2024.	49
Figura 4-26. Porcentajes de la representación de formas identificadas en los microplásticos de las muestras de arena de playas priorizadas del Atlántico.	50
Figura 4-27. Sistema de Información Ambiental Marina – SIAM.....	51
Figura 4-28. Metadato creado de las 18 estaciones realizadas en el monitoreo del 09 al 11 de septiembre de 2024, disponible en GeoNetwork (Servicios de catalogación de información de Metadatos del SIAM).....	52
Figura 4-29. DashBoard del avance general del flujo de datos del muestreo realizado en el departamento del Atlántico. a) Flujo de datos del muestro realizado en el departamento del Atlántico a escala nacional. b) Flujo de datos del muestro realizado en el departamento del Atlántico a escala departamental.....	53
Figura 4-30. Consulta de datos de la variable salinidad del muestreo realizado en el departamento del Atlántico año 2024.	54
Figura 4-31. Datos disponibles para consulta y descarga del muestreo realizado en el departamento del Atlántico 2024 mediante el portal SIAM EXPLORER (https://siamexplorer.invemar.org.co/).	55
Figura 4-32. Geovisor SIAM EXPLORER: Visualización geográfica de los puntos de monitoreos del muestreo realizado en el departamento de Atlántico 2024.	55
Figura 5-1. Área de estudio del sector de Puerto Velero.....	58
Figura 5-2 Mapa de unidades geológicas que muestra rocas y depósitos sedimentarios presentes en el área de estudio (Modificado de Barrera, R. 2001).....	61
Figura 5-3. Mapa de unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio (Modificado de Afanador Franco et al., 2013).....	63
Figura 5-4. Adquisición de información de Sonar de Barrido Lateral en el sector de Puerto Velero (Izq.). Sistema global de navegación GNSS (Global Navigation Satellite System) con antena externa (Der.	

sup). Imagen en tiempo real del fondo marino en escala de grises (Der. inf). (Fuente: Programa de Geociencias marinas y costeras).....	64
Figura 5-5. Líneas de adquisición de sonar de barrido lateral en el área de Puerto Velero.	66
Figura 5-6. Verificación de zonas de interés a través de evaluaciones ecológicas rápidas.	67
Figura 5-7. Caracterización de áreas coralinas en el sector de Puerto Velero, siendo A) Colonia de <i>S. siderea</i> en la zona de evaluación. B) Investigador realizando la lectura del transecto. C y D) Colonias palidecidas y/o blanqueadas en la zona de evaluación.	68
Figura 5-8. Interfaz del software de procesamiento ISE 2.9 (INNOMAR, 2009).	69
Figura 5-9. Interfaz del software <i>Side Scan Processor</i> V1.2 (INNOMAR, 2009) en donde se lleva a cabo la aplicación de filtros de ganancia y TVG.	70
Figura 5-10. Modelo batimétrico de Puerto Velero que muestra un rango de profundidades de -1,084 m y -11,133 m.	71
Figura 5-11. Mosaico de Sonar de Barrido Lateral del área de Puerto Velero. Polígonos rojos indican áreas de anomalías en patrones de reflectividad.	72
Figura 5-12. Detalle de anomalías del polígono A, identificadas en el mosaico de Sonar de Barrido Lateral del área de Puerto Velero.	73
Figura 5-13. Detalle de anomalías del polígono B, identificadas en el mosaico de Sonar de Barrido Lateral del área de Puerto Velero.	74
Figura 5-14. Detalle de anomalías del polígono C, identificadas en el mosaico de Sonar de Barrido Lateral del área de Puerto Velero.	75
Figura 5-15. Mapeo de ecosistemas marinos detectados en la zona de Puerto Velero donde se destaca el área coralina.	77
Figura 5-16. A) Zona de rocas cubiertas por esponjas y algas en tapete, B) Jardín de gorgonáceos del género <i>Antillogorgia</i> sp.	78
Figura 5-17. A) Coral dedo (<i>Porites porites</i>). B) Coral árbol de marfil (<i>Oculina diffusa</i>).	79
Figura 5-18. Corales de fuego de las especies A) <i>Millepora alcicornis</i> y B) <i>Millepora complanata</i>	79
Figura 5-19. A) Especie de coral cerebro (<i>Pseudodiploria strigosa</i>). B) Especie de coral mostaza (<i>Siderastrea siderea</i>).....	80
Figura 5-20. Porcentaje de cobertura de los principales grupos del sustrato en la zona coralina de Puerto Velero 81	81
Figura 5-21. Colonias blanqueadas y palidecidas de A) <i>Siderastrea siderea</i> , B) <i>Pseudodiploria clivosa</i> , C) <i>Millepora complanata</i> , D) <i>Porites porites</i>	82
Figura 5-22. Especies registradas en la zona arrecifal de Puerto Velero. A) <i>Haliclona</i> sp. B) <i>Oculina diffusa</i> C) <i>Antillogorgia</i> sp. D) <i>Zoanthus</i> sp. E) <i>Eucidaris tribuloides</i> . F) <i>Pterois volitans</i>	84
Figura 6-1 Área de estudio de la playa Santa Verónica.	87

Figura 6-2. A) Recorrido terrestre para la identificación de factores de degradación en la playa Santa Verónica. B). Encuesta a residentes de la zona.....	88
Figura 6-3. Taller participativo con la Comunidad de Santa Verónica. A) Contextualización del proyecto. B) Cartografía social “reconociendo mi territorio”. C) Línea de tiempo. D) Valoración de impactos y propuestas de medidas de prevención y protección ambiental.	93
Figura 6-4 Taller virtual con Instituciones para identificar factores de degradación ambientales y medidas de prevención en la Playa de Santa Verónica, desarrollado el 29 de octubre del 2024.	95
Figura 6-5 Taller presencial con Instituciones para identificar factores de degradación ambientales y medidas de prevención en la Playa de Santa Verónica, desarrollado el 12 de diciembre del 2024.	96
Figura 6-6 Catalizadores del eje de ordenamiento del territorio alrededor del agua y justicia ambiental del Plan Nacional de Desarrollo (PND 2022-2026)	97
Figura 6-7 Fases desarrolladas en la Estrategia Escuelas Azules en el año 2024 del convenio CRA 004-2024.	98
Figura 6-8. Instrumento para el diagnóstico del conocimiento oceánico.....	99
Figura 6-9. Factores de degradación ambiental y ecosistemas identificados en la Playa de Santa Verónica, Juan de Acosta, Atlántico.	100
Figura 6-10. Residuos Sólidos A) Acumulación de residuos sólidos en la desembocadura del arroyo Grande de Juan de Acosta. B) Acumulación de residuos sólidos en el sector de salinas del rey. C) Acumulación de residuos sólidos en el sector de mayor concentración turística. D) Contenedor de residuos sólidos en mal estado.	101
Figura 6-11. Extracción de arena de la zona de playa.....	102
Figura 6-12. Quemadas en la zona de playa	102
Figura 6-13. Vertimientos. A) Vertimiento de aguas negras en un restaurante de la zona turística. B) Vertimiento a la playa de aguas grises provenientes de un hotel de la zona. C) Canal de desagüe de aguas lluvias. D) Tuberías de vivienda hacia la playa.....	103
Figura 6-14. Estructuras de protección costera artesanal	104
Figura 6-15. Embarcaciones sobre la playa. B) Residuos sólidos y agua estancada al interior de una embarcación.....	104
Figura 6-16. Construcciones aledañas a la playa. A, B y C) Construcciones ubicadas en el sector de Villas de Santa Verónica. D) Construcción en el sector de Salinas del Rey.	105
Figura 6-17. Línea de tiempo construida de forma participativa con los actores clave en la playa Santa Verónica, durante el taller de identificación y evaluación de impactos ambientales potenciales realizado el día 4 de octubre de 2024.....	106
Figura 6-19. Resultados de la evaluación de impactos ambientales en la playa Santa Verónica, Atlántico.	107

Figura 6-19. Valoración participativa de las presiones identificadas en Santa Verónica	109
Figura 6-20 Matriz Vester de factores de degradación ambiental identificados en la playa de Santa Verónica: P1: residuos sólidos P2: expansión urbana; P3: vertimientos líquidos; P4: extracción de arena de la zona de playa; P5: quemas; P6: tránsito de embarcaciones; P7: estructuras de protección costera artesanal.....	111
Figura 6-21. Resultados de la evaluación de los aspectos de sostenibilidad para la playa de Santa Verónica, Juan de Acosta, Atlántico, realizada en el primer taller con instituciones realizado el 29 de octubre en modalidad virtual.	112
Figura 6-22. Matriz DOFA de la playa de Santa Verónica, Juan de Acosta, Atlántico, Elaborada en el segundo taller con instituciones que se llevó a cabo el día 12 de diciembre de 2024.....	113
Figura 6-23. Número de participantes en las actividades de Alfabetización oceánica de la estrategia Escuelas Azules en el Departamento del Atlántico en el año 2024	117
Figura 6-24. Laboratorio de formación del Saber oceánico 2024. A) Fotografía oficial de asistentes al Laboratorio. B) Contexto y generalidades del convenio 004-2024. C) Diálogo a cargo de Luis Chasqui sobre la biodiversidad marina D) Charla "A mojarse los pies: Una introducción a la cultura oceánica" a cargo del Moisés Gallo. E) "Charlas El Océano" a cargo de Gabriela Casuso. F) Socialización del Kit de herramientas para la alfabetización oceánica.	119
Figura 6-25. Actividades Lúdicas Interactivas Semilleros de Cultura Oceánica. A) Sensibilización Principios de Cultura Oceánica. B) El océano que soñamos. C) Pesca en el Océano. D) Pacto con el océano. E) Expedición de la Biodiversidad Marina Museo Makuariwa. F) La vida marina.	120
Figura 6-26. Participantes del diagnóstico del conocimiento de océano	121
Figura 6-27. Caracterización de la población objetivo del diagnóstico de conocimiento. A) Número de respuestas por publico objetivo. B) Género de las personas encuestadas. C) Número de respuestas por Institución. D) Edades de los encuestados. E) Número de participantes por grados académicos.	122
Figura 6-28 Nivel de la percepción de la conexión de la población objetivo con el océano en el diagnóstico de conocimiento en el marco del convenio CRA 004-2024.	124
Figura 6-29 Nivel de conocimiento de los estudiantes de primaria en los siete (7) principios de la alfabetización oceánica.	125
Figura 6-30 Nivel de conocimiento de los estudiantes de secundaria en los siete (7) principios de la alfabetización oceánica.	126
Figura 6-31 Nivel de conocimiento de los docentes en los siete (7) principios de la alfabetización oceánica.	127
Figura 6-32 identificación de la biodiversidad marina.....	128
Figura 7.1. Estaciones de perfiles topográficos en la playa entre la Ciénaga de Mallorquín y Punta Sabanilla.	131

Figura 7.2. Cálculo del NDWI mensual entre noviembre 2023 y noviembre 2024 de la celda litoral entre Puerto Mocho y Punta Sabanilla.....	133
Figura 7.3. (a) Actividad de ejecución del levantamiento dron en campo. b) Fotografía aérea capturada durante el vuelo, mostrando detalles de resolución y cobertura espacial; c) Vista oblicua de la nube de puntos densa. d) Localización de las cámaras y visualización del ortomosaico.....	134
Figura 7.4. Esquema de muestreo sedimentológico.	135
Figura 7.5. Estrategia para diseñar el estado del arte. Tomado de George, 2019.	138
Figura 7.6. Precipitación mensual acumulada para los años 2022, 2023 y 2024.	141
Figura 7.7. Magnitud promedio del viento en la región Caribe.....	142
Figura 7.8. Promedio en época seca de la altura significativa y dirección predominante.	143
Figura 7.9. Promedio en época húmeda de la altura significativa y dirección predominante.....	143
Figura 7.10. Pendiente media de los perfiles de playa entre la barra de la ciénaga Mallorquín y Punta Sabanilla.....	145
Figura 7.11. Perfiles topográficos de playa levantados entre la barra de la ciénaga Mallorquín y Punta Sabanilla.....	146
Figura 7.12. Resultados del seguimiento a la erosión costera de la espiga litoral que protege la ciénaga Mallorquín.	148
Figura 7.13. Resultados del seguimiento a la erosión costera de la barra litoral de la ciénaga Mallorquín.	149
Figura 7.14. Resultados del seguimiento a la erosión costera entre el arroyo León y Punta Sabanilla.	150
Figura 7.15. Ortofoto de la barra en la ciénaga de la Mallorquín (25/09/2024) con la identificación de rasgos geomorfológicos y antrópicos, incluyendo (a) sistema de dunas costeras. (b) fragmentación de la barra. (c) y (d) desarrollo de infraestructura y cambios en la coloración de sedimentos.	151
Figura 7.16. a) vista oblicua del sistema de dunas. (b) perfil topográfico paralelo a la costa. (c) perfil topográfico transversal a la costa. La ubicación de los perfiles en el recuadro a de la Figura 5.15.	152
Figura 7.17. Clasificación textural (Folk, 1954) para las muestras de las zonas supramareal, mesomareal e inframareal.....	153
Figura 7.18. Diagramas bivariantes de sedimentos a) tamaño de grano vs. selección; b) selección vs. asimetría; c) asimetría vs. curtosis.....	154
Figura 7.19. Porcentajes de carbonato de calcio en las muestras recolectadas en las zonas supramareal, mesomareal e inframareal.	156
Figura 7.20. Porcentajes de materia orgánica en las muestras recolectadas en las zonas supramareal, mesomareal e inframareal.	157
Figura 7.21. Enfoque de las soluciones identificadas por los actores comunitarios.	159

Figura 7.22. Enfoque de las soluciones identificadas por los actores expertos.	161
Figura 7.23. Mapa de las Tasas de Cambio de Erosión (EPR) en la Línea de Costa del Departamento del Atlántico durante la Temporada Seca.	167
Figura 7.24. Mapa de las tasas de cambio de erosión (EPR) en la línea de costa del departamento del Atlántico durante la temporada húmeda.	168
Figura 7.25. Comparación de la variación de NSM, EPR y LRR en transectos de Salgar y Puerto Velero durante las temporadas seca y húmeda.	169
Figura 7.26. Vulnerabilidad por altura de oleaje.....	170
Figura 7.27. Vulnerabilidad por aumento del nivel del mar.....	171
Figura 7.28. Vulnerabilidad por pendientes.....	172
Figura 7.29. Vulnerabilidad por geomorfología.....	173
Figura 7.30. Vulnerabilidad por distancia a la costa.....	174
Figura 7.31. Vulnerabilidad por erosión costera.....	175
Figura 7.32. Vulnerabilidad por coberturas.	176
Figura 7.33. Índice de vulnerabilidad costera.....	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Resumen del avance de las actividades desarrolladas durante la ejecución del Convenio 004 de 2024.....	17
Tabla 4-1. Coordenadas de referencia del cuadrante central (cuadrante 3) ubicado en las playas prioritizadas del departamento del Atlántico para determinar el estado de contaminación de basura marina y microplásticos.	20
Tabla 4-2. Metodologías utilizadas para el análisis de las variables fisicoquímicas medidas in situ	21
Tabla 4-3. Metodologías utilizadas para el análisis de las variables de calidad de aguas y sedimentos en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR.	23
Tabla 4-4. Variables para el cálculo del ICAM con fines de preservación de fauna y flora, de acuerdo al tipo de agua. Fuente: Elaboración propia.	25
Tabla 4-5. Escala de Valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM _{PFF}), y opciones de medidas que se pueden optar según la valoración del indicador ICAM _{PFF} (Modificado de Marín, 2001).....	26
Tabla 4-6. Escalas del nivel de cumplimiento de concentraciones de Coliformes Termotolerantes, Coliformes totales y Enterococos fecales para el uso recreativo de aguas.....	27
Tabla 5-1 Coordenadas geográficas que delimitan el área de estudio.....	58
Tabla 5.2. Polígonos seleccionados para validación in-situ de las anomalías identificadas en el sonar de barrido lateral.....	76
Tabla 5-3. Listado de especies encontradas en la zona coralina de Puerto Velero.....	83
Tabla 6-2 Calificación y valores utilizados en la evaluación de impactos. Fuente: Toro et al., 2013.	90
Tabla 6-3. Matriz de identificación de impactos ambientales por componente utilizado para Punta Astilleros modificado de Conesa, 2009.....	91
Tabla 6-4. Calificación de la importancia del impacto. Modificado de Conesa, 2009.	91
Tabla 6-1. Aspectos de sostenibilidad ambiental enmarcados en el esquema de certificación internacional "Bandera Azul" (FEE, 2023) y en la Norma Técnica NTS-TS Sectorial Colombiana 001-2 (ICONTEC, 2007).....	94
Tabla 6-5 Factores de degradación ambiental identificados en la Playa de Santa Verónica mediante observaciones en campo. La calificación está relacionada con la dependencia e influencia que tiene cada variable con las demás, donde: (0) no la causa; (1) la causa indirectamente o tiene una relación media; y (3) la causa directamente o tiene una relación fuerte.	110
Tabla 6-6. Catalizadores, acciones, actores y necesidades encaminadas a la protección ambiental de la playa Santa Verónica	114

Tabla 7.1. Parámetros de levantamiento fotogramétrico en la barra de la Ciénaga de Mallorquín.	134
Tabla 7.2. Indicadores de Vulnerabilidad Costera, metodología USGS, 2022.	140
Tabla 7.3. Identificación de alternativas por los actores comunitarios	159
Tabla 7.4. Identificación de alternativas por los actores expertos	162
Tabla 7.5. Rangos de valores de CVI calculados para este estudio.	177

1 INTRODUCCIÓN

La protección de los ecosistemas marinos, en zonas ricas en biodiversidad como las zonas costeras de Colombia, es una preocupación cada vez más relevante a nivel mundial. Ecosistemas como los manglares, pastos marinos y arrecifes coralinos juegan un papel crucial, ya que proporcionan beneficios esenciales, como la protección contra la erosión costera, el sustento para especies de importancia comercial y la captura de carbono. Estos servicios no solo son fundamentales para la salud ambiental, sino también para el bienestar económico de las comunidades costeras, ([Barbier et al., 2011](#)).

Desde 2001, el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) y la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) han trabajado conjuntamente para generar conocimiento sobre el estado de los ecosistemas marino-costeros del departamento del Atlántico. En el marco del Convenio 004 de 2024, se integraron varias actividades orientadas a monitorear, comprender y abordar las problemáticas ambientales de la región. Estas acciones incluyeron la evaluación de la calidad de las aguas y sedimentos, el análisis de basura marina y microplásticos en las arenas de playas turísticas priorizadas, todo ello a través de la “Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia” (REDCAM).

Así mismo, se determinó la ubicación, extensión y estado actual del área coralina en Puerto Velero, y se identificaron factores de degradación en la playa Santa Verónica, acompañados de propuestas de medidas preventivas y estrategias de protección de los ecosistemas. Para fomentar la conciencia ambiental, se desarrollaron actividades de alfabetización oceánica en escuelas, promoviendo la protección de los ecosistemas desde edades tempranas.

Además, se definieron alternativas de solución híbrida basadas en la naturaleza (SbN) para mitigar la erosión costera en la Ciénaga de Mallorquín, y se llevó a cabo un análisis detallado de los cambios en la línea de costa y la dinámica geomorfológica de la región. Estas acciones integradas refuerzan el compromiso con la sostenibilidad ambiental y la gestión responsable de los ecosistemas costeros.

En el presente informe, se describen los resultados detallados de las actividades técnicas desarrolladas en el marco del Convenio Interadministrativo No. 004-2024 suscrito entre la CRA y el INVEMAR. Estos resultados constituyen una base sólida para la toma de decisiones enfocadas en la mitigación de impactos ambientales y la promoción de la sostenibilidad de los ecosistemas del departamento del Atlántico.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Generar información técnico-científicas que soporte la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico– CRA en la zona costera del departamento del Atlántico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la calidad de las aguas y sedimentos marinos y costeros del departamento del Atlántico, incluyendo basura marina y microplásticos en arenas de playas turísticas priorizadas y mantener operativo el nodo CRA de la REDCAM.
- Determinar la ubicación, extensión y condición actual del área coralina del sector de Puerto Velero.
- Determinar factores de degradación en ecosistemas marinos y costeros, proponer medidas de prevención y desarrollar actividades de alfabetización oceánica como acciones de protección ambiental en el departamento del Atlántico.
- Identificar la mejor alternativa de solución híbrida basada en la naturaleza (SbN) para mitigar la erosión costera en la Ciénaga de Mallorquín.
- Evaluar los cambios de la línea de costa y dinámica geomorfológica en el departamento del Atlántico.

3 RESUMEN ACTIVIDADES DESARROLLADAS

A continuación, se presenta el resume de los avances en las actividades realizadas en el marco del convenio de cooperación 004 de 2024 (Tabla 3-1).

Tabla 3-1. Resumen del avance de las actividades desarrolladas durante la ejecución del Convenio 004 de 2024

COMPONENTE	ACTIVIDADES	PRODUCTOS	AVANCE (%)	DESCRIPCIÓN BREVE DEL AVANCE
Evaluación de la calidad del agua marina y costera en el departamento de Atlántico y operación del nodo – REDCAM.	Realizar salida de campo para tomar variables <i>in situ</i> y recolectar muestras de agua y de sedimentos Mediciones de basura marina y microplásticos.	Diagnóstico REDCAM con los resultados de calidad de aguas y sedimentos y microplásticos El sistema de información REDCAM actualizado Un funcionario de la CRA capacitado en el curso taller REDCAM 2024	100%	Entre el 09 y 11 de septiembre de 2024, se realizó la salida de campo para evaluar la calidad del agua y sedimentos marino-costeros en 18 estaciones, y la contaminación por basura marina y microplásticos en seis (6) playas priorizadas del departamento del Atlántico (Anexo 1 , Anexo 2 , Anexo 3).
	Realizar los análisis en laboratorio del agua y sedimentos recolectados		100%	Se analizaron las muestras de agua, sedimentos, basura marina y microplásticos en el LABCAM
	Actualizar la base de datos y servicios Web del sistema de información de la REDCAM		100%	Se actualizó la base de datos del sistema de información de la REDCAM, con los resultados de los muestreos de calidad de agua y sedimentos en el departamento del Atlántico realizados en septiembre de 2024.
	Elaborar el capítulo diagnóstico REDCAM, incluyendo microplásticos y el reporte del ICAM.		100%	Se presentó el análisis de información en el informe diagnóstico del departamento del Atlántico.
Ubicación, extensión, establecimiento de la condición actual del ecosistema coralino en la ensenada de Puerto Velero.	Determinación de la ubicación y extensión de corales	Datos de la ubicación del área coralina en el sector de Puerto Velero Datos de extensión aproximados para los distintos sustratos encontrados en el área de interés	100%	Con ayuda de los resultados obtenidos por el Sonar de Barrido Lateral, se identifican las áreas con sustrato duro con el fin de evaluar directamente la composición del sustrato. Con el área identificada se determina su tamaño aproximado.
	Identificación de la condición actual de corales	Cuantificación de las coberturas asociadas a los corales encontrados en el área, así como porcentaje de incidencia de blanqueamiento y enfermedades asociadas	100%	Identificada el área de interés se recopila información de su presencia, composición, especies presentes y dentro de lo posible identificación de su estado en el sitio o potenciales riesgos para su conservación.
Propuesta de medidas de prevención y protección ambiental	Identificación de factores de degradación, valoración de potenciales impactos y propuesta de medidas de	Capítulo con los factores de degradación identificados en zonas priorizadas y la propuesta de medidas de	100%	Se realizó una salida de campo para identificar los factores de degradación presentes en la playa Santa Verónica y se

COMPONENTE	ACTIVIDADES	PRODUCTOS	AVANCE (%)	DESCRIPCIÓN BREVE DEL AVANCE
frente a los factores de degradación de los ecosistemas marinos y costeros en el departamento del atlántico, y desarrollo de actividades de alfabetización oceánica	prevención y protección ambiental	prevención y protección ambiental		evaluaron los efectos ambientales asociados a estos y el impacto que generan en el ecosistema. Se realizó un taller con la comunidad y dos con instituciones para identificar factores de degradación y proponer medidas de prevención y protección ambiental en la playa de Santa Verónica.
	Alfabetización oceánica para la apropiación social del conocimiento marino	Memorias de las actividades de Alfabetización oceánica realizadas.	100%	Se realizó un diagnóstico de conocimiento de saberes oceánicos en dos instituciones educativas del municipio de Juan Acosta, además en el marco de la estrategia Escuelas Azules, se realizó un laboratorio de formación de saberes oceánicos con docentes y dos semilleros de cultura oceánica con estudiantes de perima y secundaria.
Seguimiento a la erosión costera y cambios geomorfológicos	Alternativa de solución híbrida basada en la naturaleza	Informe técnico	100%	Análisis del estado de la erosión e identificación de las alternativas SbN.
	Seguimiento a la erosión costera y cambios geomorfológicos del departamento del Atlántico		100%	Se realizó el análisis de los cambios de la línea de costa y perfiles de playa.

4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MARINA Y COSTERA EN EL DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO Y OPERACIÓN DEL NODO REDCAM

Preparado por: Laura Sofía Coral Chamorro, Carlos Andrés Pacheco Vélez, Jair José Valdés Carrascal, Laura Paola Fragozo Velásquez, Paola Sofía Obando Madera y Luisa Fernanda Espinosa

4.1 REDCAM

La Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (REDCAM) es un programa nacional de cooperación interinstitucional encargado de monitorear el ambiente marino. REDCAM está coordinado por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), cuenta con la participación de las corporaciones autónomas

regionales y de desarrollo sostenible que tienen jurisdicción en zonas marino-costeras, y recibe respaldo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). El objetivo principal de la REDCAM es generar conocimiento científico sobre la calidad ambiental de las áreas marino-costeras de Colombia que es soporte para la formulación de planes y programas de gestión ambiental para el manejo integrado del recurso hídrico y el uso sostenible de los recursos naturales asociados. En el departamento del Atlántico, el nodo de la REDCAM es la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (C.R.A.), que en colaboración con INVEMAR, ha llevado a cabo el monitoreo con una frecuencia anual o semestral de la calidad del agua marino-costera desde el año 2001 hasta la actualidad.

En este apartado se presentan los resultados del monitoreo de la calidad del agua, arena de playa y los sedimentos marino-costeros en el departamento del Atlántico, así como la evaluación de la contaminación por basura marina y microplásticos en las playas turísticas priorizadas.

4.2 ÁREA DE ESTUDIO

Para dar continuidad al programa de monitoreo REDCAM y para mantener actualizado el diagnóstico de calidad de aguas y sedimentos marino-costeros en el departamento del Atlántico, se llevó a cabo una (1) salida de campo entre el 09 y 11 de septiembre de 2024. El monitoreo se realizó en 18 estaciones (puntos de muestreo) ubicadas en tres (3) zonas de la franja marina-costera de los municipios de Piojó, Juan Acosta, Tubará y Puerto Colombia y en la zona del río Magdalena que va desde Dársena Barranquilla hasta Bocas de Ceniza (Figura 4-1). La evaluación de la contaminación por basura marina y microplásticos, se realizó en seis (6) playas turísticas (Tabla 4-1).

Durante las salidas de campo se cumplió con los planes de muestreos establecidos; y se contó con el acompañamiento de la funcionaria de la C.R.A., Yury Calderón, la Policía Nacional y la Guardia Costera en las estaciones ubicadas en el Río Magdalena (Caño Clarín, Bocas de Ceniza, Las flores, Aguas abajo base naval, Frente a base naval y frente a Dársena acueducto) y Ciénaga de Mallorquín (Urbanización la Playa y Desembocadura del Arroyo León; Figura 4-1).

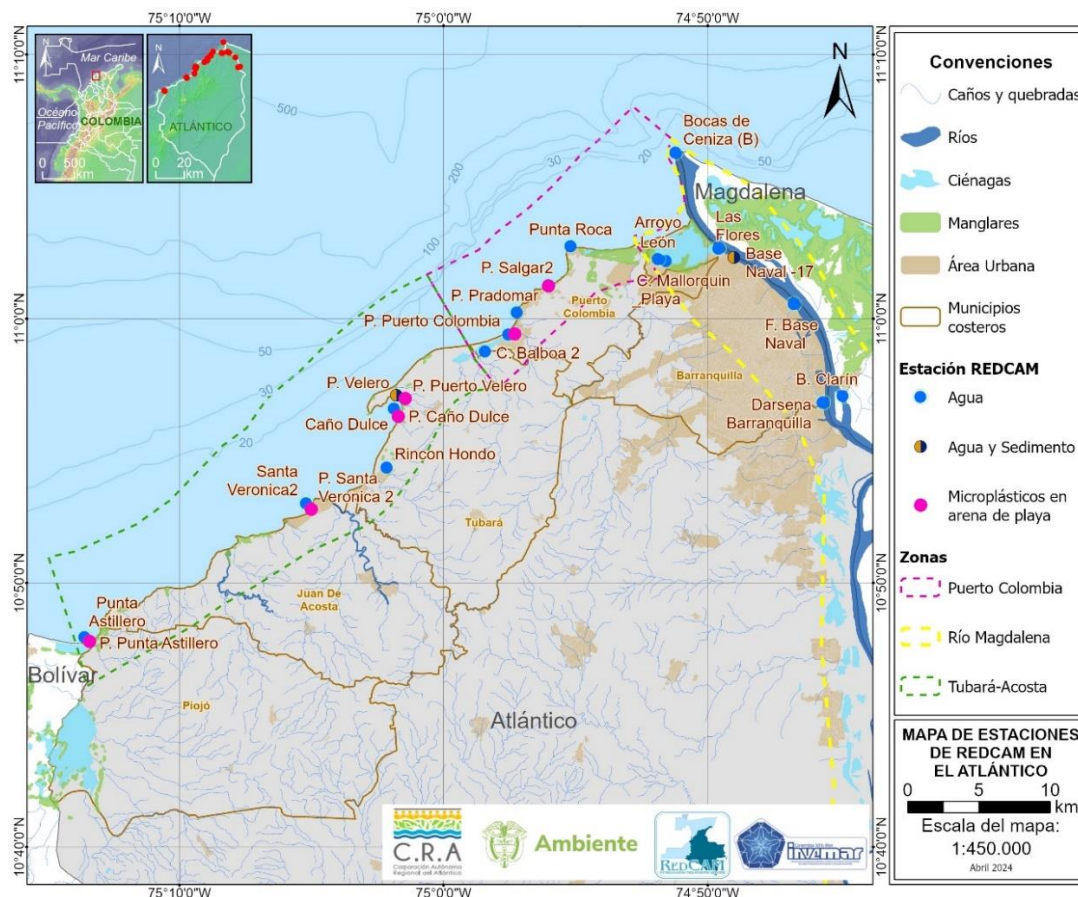


Figura 4-1. Mapa con la ubicación de las estaciones de muestreo de la REDCAM del departamento de Atlántico. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, los puntos bicolors (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimentos sumergidos, y los puntos color fucsia corresponden a las estaciones de toma de muestras de microplásticos en arena de playa. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo. Fuente: Laboratorio de Servicios de Información – INVEMAR.

Tabla 4-1. Coordenadas de referencia del cuadrante central (cuadrante 3) ubicado en las playas priorizadas del departamento del Atlántico para determinar el estado de contaminación de basura marina y microplásticos.

Estación	Latitud N	Longitud W
Playa Punta Astillero	10,79630	-75,22350
Playa Puerto Colombia	10,99070	-74,95840
Playa Caño Dulce	10,93834	-75,02851
Playa Salgar	11,02080	-74,93390
Playa Santa Verónica	10,87976	-75,08358
Playa Puerto Velero	10,95096	-75,02904

4.3 METODOLOGÍA

4.3.1 Calidad de aguas y sedimentos

4.3.1.1 Fase de campo

Se cumplió el plan de muestreo ([Anexo 1](#)) y se midieron los parámetros *in situ* (temperatura, salinidad, pH, conductividad, oxígeno disuelto, porcentaje saturación de oxígeno, y transparencia; Tabla 4-2) usando equipos portátiles previamente calibrados. Asimismo, se recolectaron muestras de agua para la determinación de variables fisicoquímicas, microbiológicas, metales pesados y contaminantes orgánicos (Figura 4-2).

Tabla 4-2. Metodologías utilizadas para el análisis de las variables fisicoquímicas medidas in situ

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
Fisicoquímicos <i>In situ</i>	Temperatura	Electrométrico	°C	Standard Methods N° 2550 B
	Salinidad	Electrométrico	g/L	Standard Methods N° 2520-B
	pH	Potenciométrico	Unidad	Standard Methods N° 4500-H B
	Conductividad	Electrométrico	mS/cm	Standard Methods N° 2520-B
	Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno	Membrana permeable	mg/L	Standard Methods N° 4500-O G
	Transparencia Secchi	Disco Secchi	m	Garay et al., 2003
	Profundidad	Medición con ecosonda portátil	m	NA



Figura 4-2. Actividades de muestreo realizadas en la salida de campo REDCAM Atlántico. Recolección de muestras de calidad de agua y sedimentos en Ciénaga de Balboa (A), Rincón Hondo (B), estación Las Flores (C) y Playa Santa Verónica (D) para el diagnóstico de calidad de aguas y sedimentos. Fotos: Programa CAM – INVEMAR.

Adicional, en la estación Puerto Velero, se recolectaron muestras de arena de playa y sedimentos en áreas con presencia de pastos marinos. En la estación Aguas Abajo Base Naval (CRA-17), se tomaron muestras de sedimentos para los análisis de granulometría, Carbono Orgánico Total (COT), metales totales, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), y plaguicidas organofosforados y organoclorados.

En las seis (6) playas turísticas priorizadas (Puerto Colombia, Punta Astillero, Salgar, Santa Verónica, Caño Dulce y Puerto Velero) donde se realizó el muestreo y análisis de la contaminación por basura marina y microplásticos, también se colectó arena de playa, en uno de los cuadrantes del transecto para el análisis de granulometría y COT. Además, en las estaciones de Puerto Velero, Playa Pradomar y Playa Muelle Puerto Colombia, se recolectaron muestras de arena para el análisis de contaminación microbiológica. Las muestras de agua y sedimento recolectadas en campo fueron trasladadas a la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina - LABCAM del INVEMAR, para el análisis de las variables fisicoquímicas, microbiológicas, contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas y sedimentos marinos siguiendo los procedimientos establecidos para las diferentes variables de calidad de agua, arena de playas y sedimentos marino costeros ([Garay et al., 2003](#); [APHA et al., 2017](#)).

4.3.1.2 Análisis de laboratorio

Las muestras de agua y sedimento fueron analizadas usando las metodologías estandarizadas para el monitoreo REDCAM, los cuales se describen en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Metodologías utilizadas para el análisis de las variables de calidad de aguas y sedimentos en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR.

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
Fisicoquímicas	Sólidos Suspendidos Totales	Gravimetría	mg/L	Standard Methods N°2540-D
	Turbidez	Medición Nefelométrica con turbidímetro	NTU	Standard Methods N°2130B
	Amonio, Nitritos, Nitratos, Fosfatos	Colorimetría	µg/L	Strickland, J. & Parsons, T. 1972
	Silicatos	Espectrofotométrico	µg/L	Método KORLEFF, Manual 12 UNESCO/COI
	Clorofila a	Método tricromático por Espectrofotometría	µg/L	Standard Methods N° 10200 H
	Fósforo total	Digestión con persulfato de potasio y cuantificación colorimétrica de ácido ascórbico	µg/L	Strickland & Parsons, 1972 Standard Methods N° 4500-P B
	COT	Combustión catalítica y determinación por analizador de carbono total	mg/L	Standard Methods N° 5310 B Matriz Sedimento:
	Demanda Bioquímica de oxígeno	Incubación por cinco días y determinación óptica de medición de luminiscencia	mg O ₂ /L	Standard Methods 5210 B, ISO 17289:2014
	COT	Oxidación seca de carbono y cuantificación por analizador de carbono TOC	%	NTC-ISO 11464, NTC 5403 Método A
	Granulometría	Método gravimétrico dispersión con hexametafosfato de sodio y cribado en tamices	%	Dewis y Freitas, 1984
Plaguicidas organoclorados y organofosforados	Hexaclorociclohexano total, Aldrin, Heptacloro, Organoclorados totales, Sumatoria DDT y sus metabolitos	Matriz Agua: Extracción líquido-líquido con diclorometano y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM Matriz Sedimento: Extracción microondas, limpieza con florisil y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM	ng/L ng/g	Matriz Agua: EPA 3510C, EPA 3620C, EPA 8270E Matriz Sedimento: EPA 3546, EPA 3620C, EPA 8270E
Plaguicidas de uso actual	Diuron, Diazinon, Clorotalonil, MetilParation, Bromacil, Clorpirifos, Fenamifos, Cis-Permetrina y trans-Permetrina,	Matriz Agua: Extracción líquido-líquido con diclorometano y lectura cromatográfica GC. Matriz Sedimento: Extracción microondas, limpieza con florisil y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM	ng/L ng/g	Matriz Agua: EPA 3510C, EPA 3620C, EPA 8270E Modificado Matriz Sedimento: EPA 3546, EPA 3620C, EPA 8270E

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
Hidrocarburos	HPDD: Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno	Matriz agua: Extracción líquido-líquido con diclorometano y determinación fluorométrica. Matriz Sedimento: Extracción microondas y cuantificación fluorométrica.	µg/L µg/g	Matriz Agua: Manual N° 13, UNESCO/COI Matriz Sedimento: EPA 3546, UNEP, UNESCO/COI,1992
	HAP: Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Matriz Agua: Extracción líquido-líquido con diclorometano y determinación cromatográfica GC-MSD modo SIM. Matriz Sedimento: Extracción microondas, Limpieza con sílica gel y cuantificación por GC-MSD	ng/L ng/g	Matriz Agua: PNUMA 2008, Standard Methods N° 6440 B-C Matriz Sedimento: EPA 3546;2007, EPA 3630C:996, EPA 8270E:2018
Metales	Disueltos: Cadmio, Cobre, Hierro, Níquel, Plomo, Zinc	Tratamiento con APDC y MIBK para extracción selectiva, seguido de re-extracción en fase ácida con HNO ₃ 1N y posterior cuantificación por espectrometría de AA con llama	µg/L	EPA 3030 B, Standard Methods N° 3111-C Modificado
	Totales: Cadmio, Cobre, Hierro, Níquel, Plomo, Zinc, Cromo en peso seco	Digestión asistida por microondas y cuantificación por espectrometría AA llama	µg/g	EPA 3052, Standard Methods N° 3111 B
	Mercurio	Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica.	µg/L	EPA 7473
	Mercurio Total en peso seco	Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica.	ng/g	EPA 7473
	Cromo hexavalente (Cr VI)	Colorimetría	µg/L	APHA <i>et al.</i> , 2017 (N° 3500-Cr B)
Microbiológicos	Coliformes Totales	Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL NPM/10 g	APHA <i>et al.</i> , 2017 (N° 9221 B)
	Coliformes Termotolerantes	Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL NMP/10 g	APHA <i>et al.</i> , 2017 (N° 9221 E)
	Enterococos fecales, <i>Escherichia coli</i>	Filtración por membrana	UFC/ 100 mL UFC/10 g	APHA <i>et al.</i> , 2017 (N° 9230) APHA <i>et al.</i> , 2017 (N° 9221) ISO 7899:2:2000
	Dermatofitos	Laboratorio	Presencia, Ausencia	colectivo de autores Gaia (2009).

4.3.1.3 Análisis de datos

Para determinar la calidad de las aguas marinas y costeras con fines de preservación de fauna y flora, en las estaciones ubicadas en el departamento del Atlántico, se aplicó el Índice de Calidad Ambiental Marina - ICAM, para lo cual se usan las variables descritas en la Tabla 4-4 que 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 ([Vivas-Aguas et al., 2022](#)).

Tabla 4-4. Variables para el cálculo del ICAM con fines de preservación de fauna y flora, de acuerdo al tipo de agua.
Fuente: Elaboración propia.

Agua marina	Agua estuarina
1. Oxígeno Disuelto (OD)	1. Oxígeno Disuelto (OD)
2. pH	2. pH
3. Nitratos (NO ₃ ⁻)	3. Nitratos (NO ₃ ⁻)
4. Ortofosfatos (PO ₄)	4. Ortofosfatos (PO ₄)
5. Sólidos Suspendidos Totales (SST)	5. Sólidos Suspendidos Totales (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)

Para el cálculo del ICAM_{PFF}, se aplican las curvas de calidad para obtener los subíndices que arrojan un valor adimensional y que se integran a través la $ICAM = \left(\prod_{j=1}^m x_j^{w_j} \right)^{\frac{1}{\sum_{j=1}^m w_j}}$ Ecuación 1. Información adicional sobre el proceso metodológico para el cálculo se pueden observar en la ficha metodológica y en el documento metodológico del ICAM en <https://icam-invemar.opendata.arcgis.com/> (Vivas-Aguas et al, 2022; Castillo-Viana et al., 2022).

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

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

$$ICAM =$$

$$\left[(X_{OD})^{0,16} x (X_{pH})^{0,12} x (X_{SST})^{0,13} x (X_{DBO})^{0,13} x (X_{CTE})^{0,14} x (X_{HPDD})^{0,12} x (X_{NO_3})^{0,09} x (X_{PO_4})^{0,13} \right]^{\frac{1}{\sum_{j=1}^m w_j}}$$

El ICAM_{PFF} se aplicó en las estaciones que cumplieran con un mínimo de seis parámetros para su cálculo y el tipo de agua según su salinidad. Dependiendo del resultado de calidad del agua arrojado por el ICAM_{PFF}, se proponen algunas alternativas de manejo, mediante las cuales se puede reducir o mitigar el impacto sobre el ecosistema que esté siendo afectado (Tabla 4-5). Para mayor información, consultar la hoja metodológica del indicador en la página del Sistema de Información Ambiental Marina (SIAM) del INVEMAR a través del enlace <https://siam.invemar.org.co/redcam-icam>.

Tabla 4-5. Escala de Valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PFF}), y opciones de medidas que se pueden optar según la valoración del indicador ICAM_{PFF} (Modificado de [Marín, 2001](#)).

Categorías	Estado 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.

Con el propósito de evaluar los cambios de la calidad de aguas superficiales marinas y costeras del departamento del Atlántico, se realizó un análisis estadístico con los resultados del ICAM_{PFF} calculados entre 2001 a 2024, en función de la ubicación de las estaciones con destinación para la preservación de la fauna y flora y usos recreativos. Adicionalmente, otras variables de calidad de agua y sedimentos se analizaron teniendo en cuenta los criterios de calidad descritos en el Decreto 1076 de 2015 ([MinAmbiente, 2015](#)) para las variables que están reglamentadas y con valores de referencias descritos en guías internacionales y en la bibliografía científica.

Con relación a la calidad del agua para uso recreativo, en las estaciones asociadas al turismo y actividades de baño se calculó el nivel de cumplimiento de la norma colombiana, Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015 ([MinAmbiente, 2015](#)), teniendo en cuenta las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT), y las normas internacionales, Directiva 2006/7/EC del Parlamento Europeo ([Unión Europea, 2006](#)) para enterococos fecales (EFE). Al obtener más de una medición por estación, durante un mismo año, los datos de concentración de CTE (NMP/100mL), CTT (NMP/100mL) y EFE (UFC/100mL) fueron transformados a valores dicotómicos (0 = no cumple con el límite permisible; 1= cumple con el límite permisible) de acuerdo a los criterios de calidad y valor de referencia para el uso recreativo del agua (CTE <200 NMP/100mL), (CTT <1.000 NMP/100mL) ([MinAmbiente, 2015](#)) y (EFE <100 UFC/100mL) ([Unión Europea, 2006](#)). Posteriormente fue calculado el porcentaje de cumplimiento por estación y año, calculado mediante la **% de cumplimiento** =
$$\frac{\text{Número de muestras que cumplieron con el límite permisible}}{\text{Total de muestras recopiladas}} \times 100$$
 Ecuación 2.

$$\% \text{ de cumplimiento}_{\text{estación año}} = \frac{\text{Número de muestras que cumplieron con el límite permisible}}{\text{Total de muestras recopiladas}} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

El nivel de cumplimiento fue estimado a través de una escala de valoración establecida en rangos porcentuales (Tabla 4-6). Los porcentajes de concentración fueron representados en un mapa de calor usando la librería *ggplot2* ([Wickham, 2016](#)) para el software R ([R Core Team, 2012](#)). A su vez, los valores de concentraciones microbiológica de Coliformes Termotolerantes, Coliformes totales y Enterococos fecales, fueron transformadas a escala logarítmica y llevadas a un diagrama boxplot para representar la distribución de los datos históricos.

Tabla 4-6. Escalas del nivel de cumplimiento de concentraciones de Coliformes Termotolerantes, Coliformes totales y Enterococos fecales para el uso recreativo de aguas.

Nivel de cumplimiento		
Bajo	Medio	Alto
Menos del 50% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplen con el límite permisible (CTE<200 NMP/100mL), (CTT<1000 NMP/100mL) y (EFE<100 UFC/100mL).	El 50% o más sin llegar al 100% (>=50 y < 100%) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplen con el límite permisible (CTE<200 NMP/100mL), (CTT<1000 NMP/100mL) y (EFE<100 UFC/100mL).	El 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplen con el límite permisible (CTE<200 NMP/100mL), (CTT<1000 NMP/100mL) y (EFE<100 UFC/100mL).

Para describir la calidad de los sedimentos, se analizaron los datos de granulometría a través del software de versión libre en Excel GRADISTAT ([Blott & Pye, 2001](#)), mediante el cual se estimó el tamaño promedio de partícula de los sedimentos y su clasificación utilizando el método de [Folk & Ward \(1957\)](#). Por otra parte, se estimaron las concentraciones máximas de metales totales y de Carbono Orgánico Total (COT) por estación y año, representado los valores en gráficos de barras.

4.3.2 Basura Marina y microplásticos

4.3.2.1 Fase de campo

Se tomaron muestras de basura marina y microplásticos en la arena de seis (6) playas turísticas en las estaciones Punta Astillero, Santa Verónica, Caño Dulce, Puerto Velero, Puerto Colombia y playa Salgar ([Tabla 4-1](#); Figura 4-3). Para la recolección de basura marina en arena de playa, en cada punto de muestreo se establecieron cinco (5) cuadrantes de 3 x 3 m en un transecto de 100 m ubicados en las zonas de pleamar. Para la recolección de las muestras de microplásticos en arena de playa, en cada cuadrante se colocaron dos (2) subcuadrantes, uno (1) de 0,5 x 0,5 m y dentro de este, uno (1) de 0,25 x 0,25 m, donde se recolectó la muestra, de forma aleatoria,

usando las metodologías adaptadas por el INVEMAR y teniendo en cuenta la estandarización del protocolo de monitoreo de microplásticos, en marco de la Red de Investigación de Estresores Marinos – Costeros en Latinoamérica y El Caribe – REMARCO (Figura 4-4).

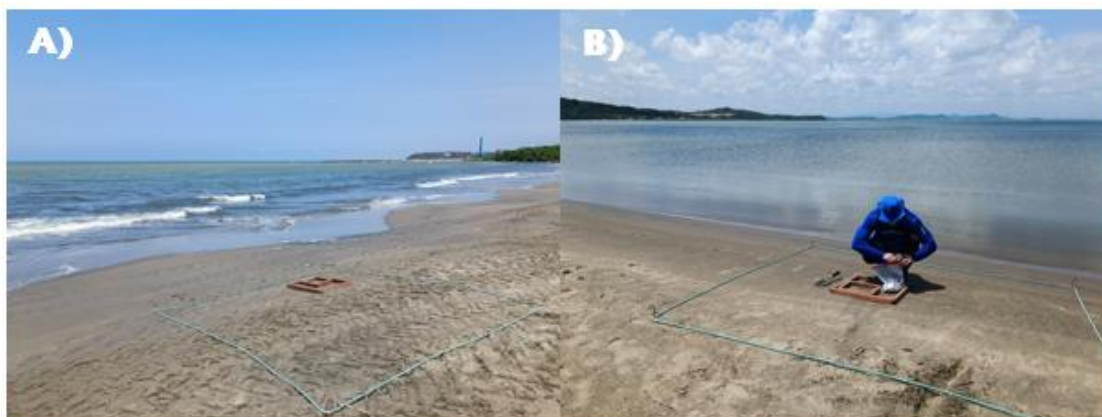


Figura 4-3. Recolección de muestras para el análisis basura marina y microplásticos en arena de playas (A y B). Fotos: Programa CAM – INVEMAR.

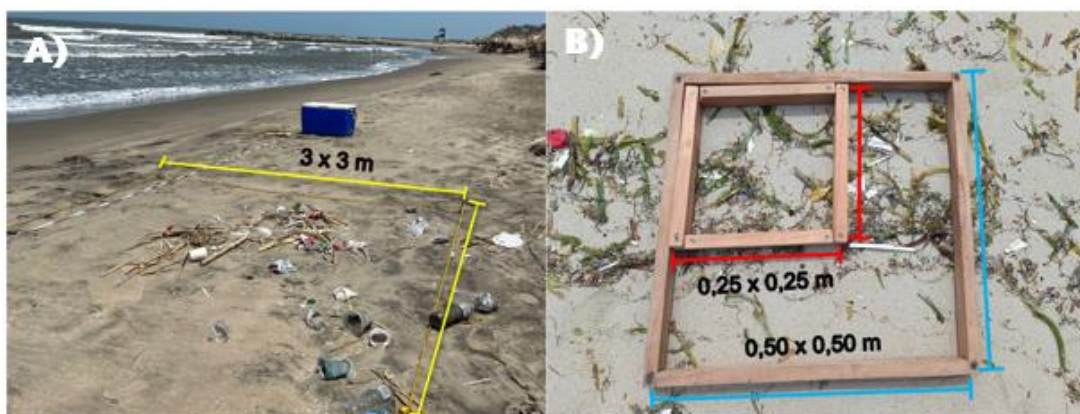


Figura 4-4. Especificaciones de cuadrantes estandarizados usados en la recolección de basura marina (A) y microplásticos (B) en arena de playas. Fotos: Programa CAM – INVEMAR.

4.3.2.2 *Análisis de laboratorio*

La basura marina (macrobasura) recolectada en arena superficial, se caracterizó y clasificó en el laboratorio en las categorías, plástico, metal, vidrio, papel-cartón y otros ([OSPAR, 2010](#)). Las muestras de arena de playa para microplásticos se pesaron y se secaron a 60°C durante 72 horas. Se determinó el peso seco de las muestras y se pasaron por tamices de 5mm, 1 mm, 500 μm y 250 μm . El material retenido en los tamices de 250 y 500 μm se transfirió a un Beaker con solución de NaCl, para separación de densidad por 24 horas, posteriormente, las muestras se filtraron mediante un sistema de bombeo al vacío con filtros de 100 μm , y se almacenaron en

cajas petri para su análisis. Las partículas plásticas se identificaron visualmente bajo el estereoscopio, con la descripción cualitativa según su origen, primarios o secundarios; y según su forma, pellet, fragmento, filamento, película, espuma ([Garcés-Ordóñez et al., 2020](#); [Kovač et al., 2016](#)). Las unidades para la concentración de basura marina y microplásticos se expresaron en ítems/m².

4.3.2.3 Análisis de datos

Para el análisis de los resultados de basura marina y microplásticos, se realizó un comparativo con los resultados históricos presentes en los lugares de muestreo, y una revisión bibliográfica sobre la basura marina y los microplásticos estudiados en playas del Caribe colombiano, con el fin de comparar el estado de contaminación de las estaciones de muestreo de la REDCAM con otras playas turísticas del Caribe.

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Calidad de aguas marinas y costeras

Análisis de información

Según la clasificación de las aguas basada en los valores de salinidad propuesta por [Knox \(2001\)](#), el 61% de las estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico correspondieron a aguas marinas, el 33% a aguas dulces y el 6% a aguas salmuera (Figura 4-5).

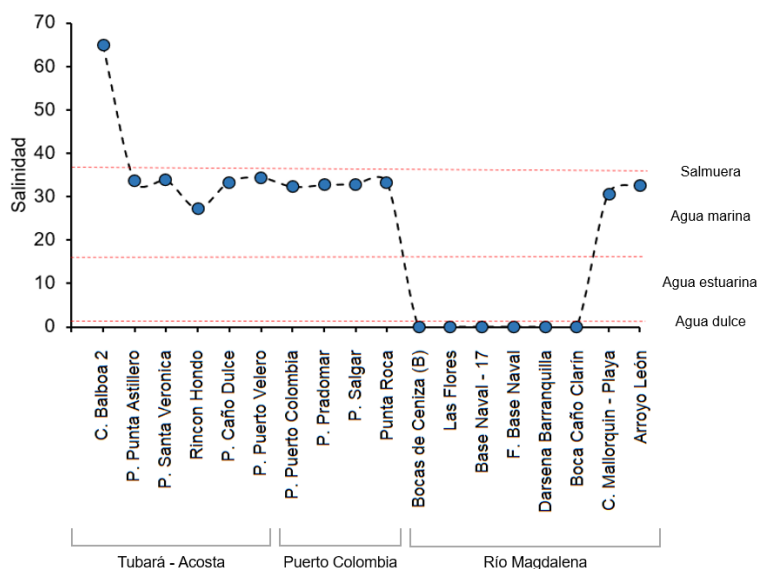


Figura 4-5. Valores de salinidad medidos durante la salida de campo REDCAM Atlántico año 2024.

El análisis histórico de salinidad en las estaciones del departamento del Atlántico reveló que las estaciones ubicadas en la zona del río Magdalena, como B. Clarín, Base Naval -17, Boca de Ceniza (B), Dársena Barranquilla, F. Base Naval y Las Flores, se clasificaron como aguas dulces. En contraste, las estaciones Arroyo León y C. Mallorquín-Playa fueron categorizadas como aguas estuarinas y marinas, respectivamente (Figura 4-6). Las estaciones situadas en las áreas de Puerto Colombia y Tubará – Acosta se identificaron mayoritariamente como aguas marinas, con excepción de la estación C. Balboa 2. Además, la estación Rincón Hondo fue clasificada como agua salmuera, una condición que se ha mantenido consistentemente desde 2014 ([INVEMAR, 2024](#)).

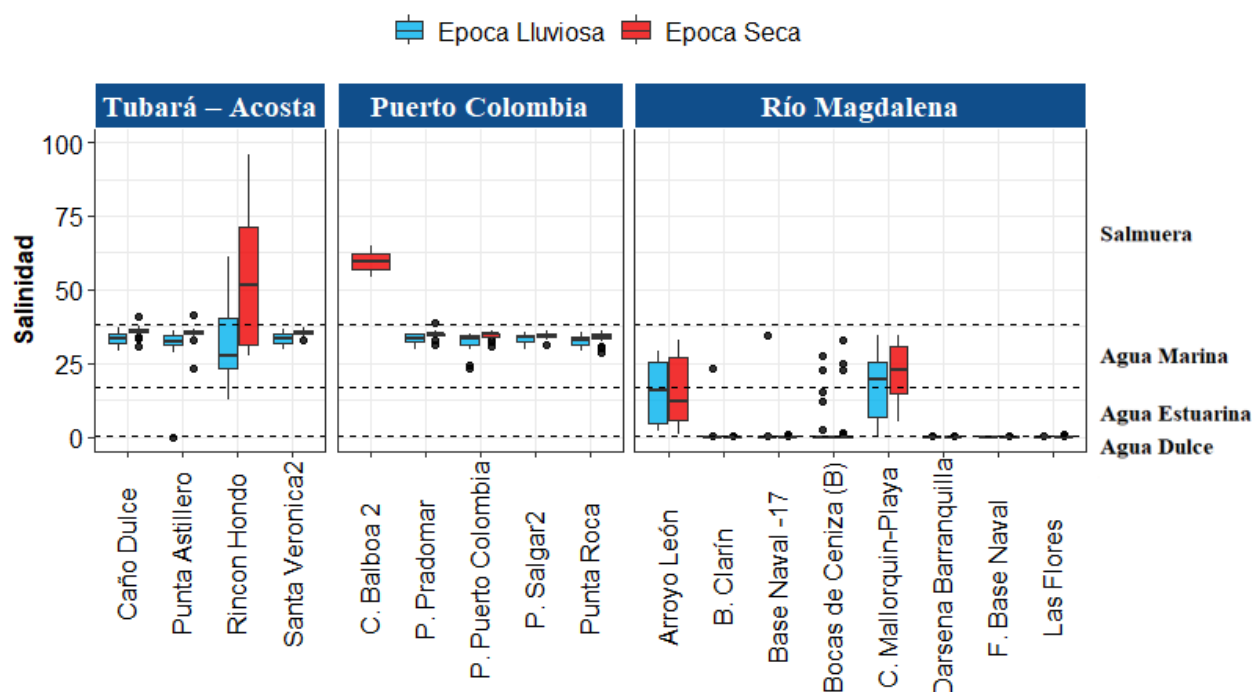


Figura 4-6. Variación histórica (2001- 2024, sin año 2020) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM del departamento de Atlántico, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. El ancho de la caja es proporcional al número de datos. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por [Knox \(2001\)](#).

Con los datos colectados en 10 estaciones del departamento del Atlántico durante el muestreo realizado en septiembre de 2024 (época seca), se calculó el Índice de Calidad Ambiental Marina para la preservación de flora y fauna (ICAM_{PF}). Estas 10 estaciones se seleccionaron por cumplir con los criterios para su aplicación en aguas marinas o estuarinas, descritos en la metodología ([Vivas-Aguas et al., 2022](#)). De estas estaciones, el 40% presentó calidad adecuada, el 30% calidad aceptable, el 20% calidad inadecuada y el 10% calidad pésima. El análisis mostró que las estaciones C. Balboa 2, P. Puerto Colombia y P. Velero tuvieron calidad pésima, inadecuada y aceptable respectivamente, reflejando un deterioro significativo en comparación con el muestreo de la misma época en 2023,

cuando fueron clasificadas como de calidad inadecuada y adecuada (INVEMAR, 2024). En contraste, la calidad adecuada se registró en las estaciones Punta Roca, Caño Dulce, Santa Verónica 2 y Punta Astillero

Figura 4-7).

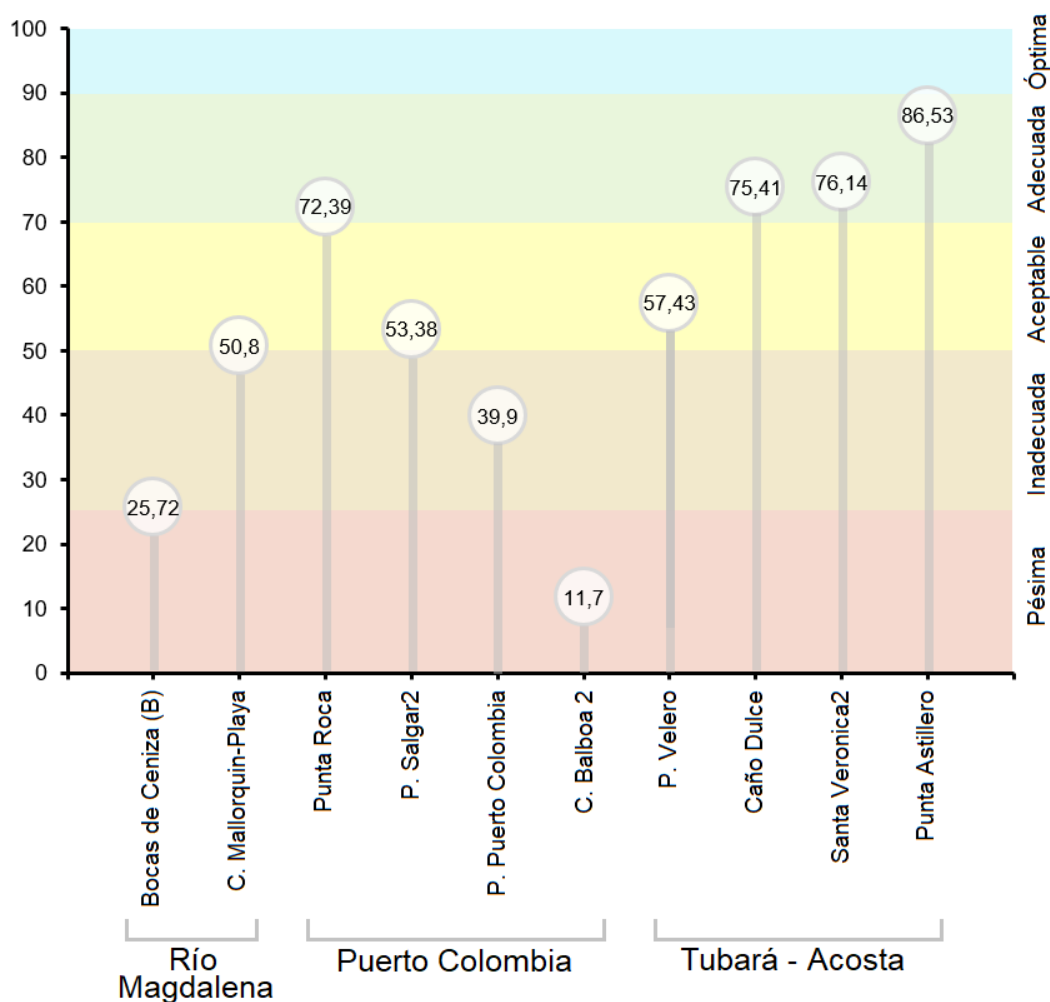


Figura 4-7. Calidad de agua superficial ICAM_{PFF} para época seca (muestreo en septiembre) del 2024, en las estaciones marinas y costeras del departamento del Atlántico.

Las estaciones clasificadas con calidad pésima e inadecuada presentaron altas concentraciones de nitratos, ortofosfatos, clorofila a y coliformes termotolerantes (CTE), indicadores directamente asociados con descargas de aguas residuales, actividades agrícolas y turismo, identificados como las principales fuentes de contaminación en la zona costera del departamento. El aumento en concentración de estas variables contribuyen a la eutrofización de las aguas, afectando su calidad y la biodiversidad, situación que se ha documentado por [Reyes & Fontalvo, \(2020\)](#); [Toro,](#)

[2020](#); [Ho et al., 2023](#); [Vergel, \(2023\)](#). En gran medida la afectación de la calidad ambiental marina del departamento del Atlántico, se debe a la limitada cobertura del sistema de alcantarillado, ya que algunos municipios, como por ejemplo la zona de Puerto Colombia, carecen de acueducto ([Superservicios, 2020](#)). A esto se suma el impacto del río Magdalena, que transporta elevadas cargas contaminantes hacia la costa ([Zúñiga, 2018](#); [Barreiro-Fierro & Castro-Muñoz, 2023](#)). Los resultados del monitoreo, muestran la necesidad de implementar medidas de manejo efectivas para mitigar el impacto de estas fuentes de contaminación, con el fin de mejorar la calidad del agua en esta área costera.

Durante la época seca de 2024, las concentraciones de carbono orgánico total (COT) en estaciones de la zona del río Magdalena, Puerto Colombia y Tubará - Acosta fluctuaron entre <LCM y 54,9 mg/L (Figura 4-8). La mayor concentración se registró en la estación C. Balboa 2, caracterizada por la presencia de abundante vegetación de manglar en diferentes grados de desarrollo ([Sánchez-Moreno et al., 2019](#)). La proximidad de Puerto Colombia a esta estación podría contribuir al aumento de residuos sólidos y vertimientos domésticos e industriales, lo que explicaría las altas concentraciones de COT, asociadas tanto a la descomposición de materia orgánica proveniente de los manglares como a la influencia de centros urbanos cercanos. En contraste, las concentraciones de COT en las estaciones de Tubará-Acosta y Río Magdalena fueron inferiores a los 5 mg/L. Comparando con 2023, las concentraciones más elevadas en la época seca se observaron en C. Balboa 2 (26,2 mg/L), Santa Verónica (22,5 mg/L) y Rincón Hondo (17,8 mg/L). En 2024, se registró un incremento significativo en C. Balboa 2 (54,9 mg/L), mientras que en Rincón Hondo experimentó una marcada disminución (4,81 mg/L) respecto a años anteriores ([INVEMAR, 2024](#)).

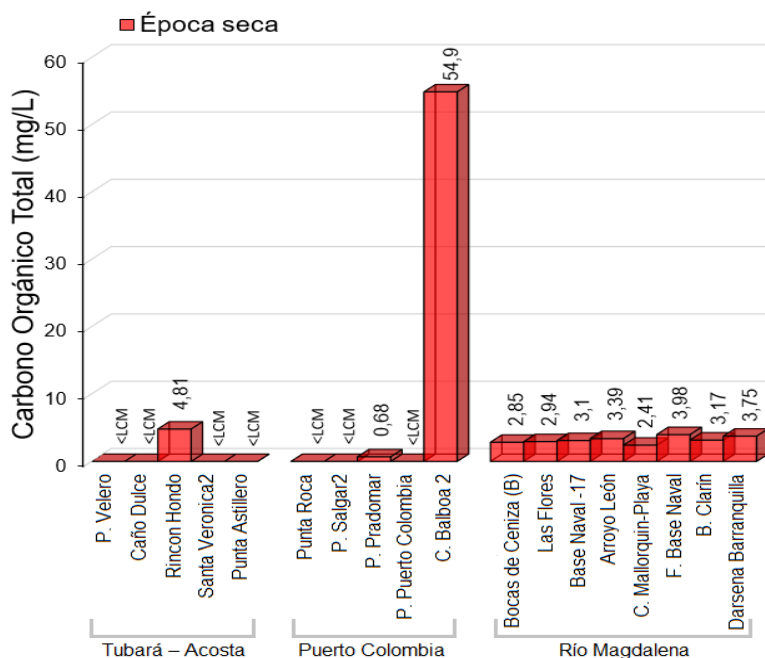


Figura 4-8. Carbono orgánico total (COT) de las muestras de agua recopiladas en época seca (muestreo en septiembre) del 2024 en el departamento del Atlántico.

Las concentraciones de Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos (HPDD) equivalentes de criseno, oscilaron entre 0,076 y 1,1 $\mu\text{g/L}$ (Figura 4-9). Las mayores concentraciones se registraron en las estaciones C. Balboa 2 y Las Flores; sin embargo, estos valores están por debajo de los valores de referencia para aguas costeras con contaminación baja ($>5 <10 \mu\text{g/L}$) y aguas marinas contaminadas ($>10 \mu\text{g/L}$), ([Acuña-González et al., 2004](#)). La presencia de estos compuestos en el medio marino, están asociadas con la intensa actividad portuaria en la zona del río Magdalena, donde históricamente se han reportado las mayores concentraciones de HPDD ([INVEMAR, 2024](#)). En particular, en el caso de C. Balboa 2, la proximidad a centros urbanos podría incrementar el riesgo de vertimientos residuales domésticos, contribuyendo a la contaminación de las aguas costeras.

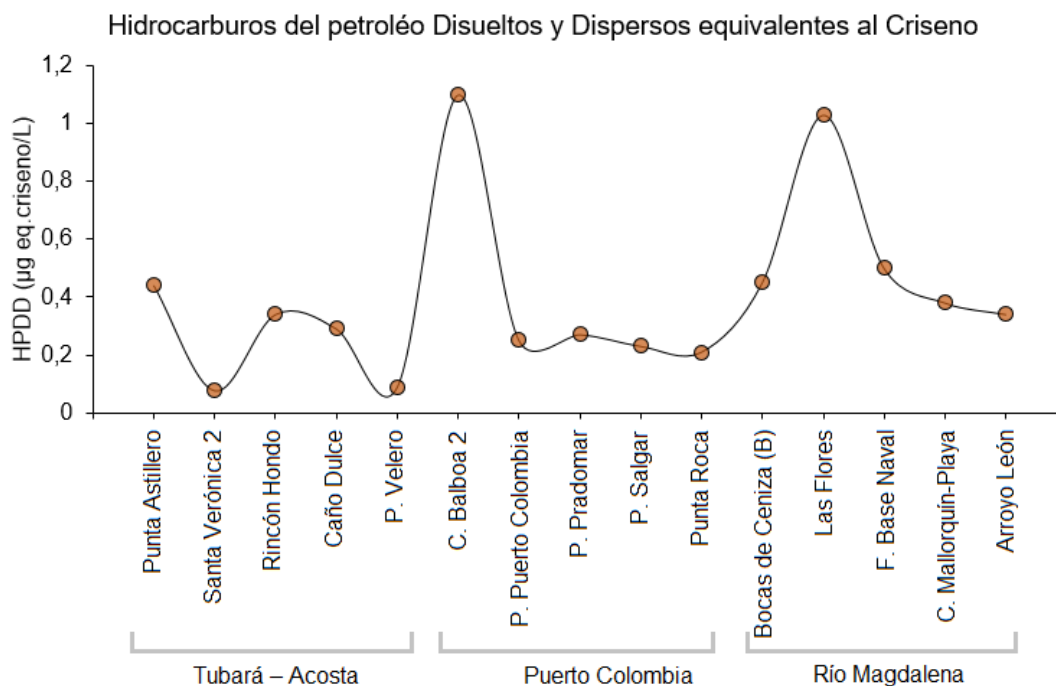


Figura 4-9. Concentración de Hidrocarburos del petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de Criseno (HPDD) en el agua superficial de las estaciones del departamento del Atlántico durante los muestreos en septiembre de 2024.

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) oscilaron entre 4,56 y 7,8 mg/L, todas las estaciones presentaron valores óptimos de acuerdo con lo establecido por la legislación colombiana para la preservación de la flora y la fauna acuática (4,0 mg/L, [MinAmbiente, 2015](#); Figura 4-10). Los mayores registros se presentaron en las estaciones Ciénaga de Mallorquín-Urbanización La Playa (7,8 mg/L), Ciénaga de Balboa (7,24 mg/L) y Playa Pradomar (7,12 mg/L) y los menores registros en las estaciones F. Base Naval (4,56 mg/L), Las Flores (5,07 mg/L) y F. Dársena Acueducto (5,7 mg/L). El oxígeno disuelto es una variable indicadora de condiciones adecuadas o inadecuadas para la preservación de flora y fauna, por lo que el seguimiento de estas mediciones es crucial para evitar disminuciones drásticas en las concentraciones de oxígeno disponible para otros organismos aerobios, afectando la calidad del agua ([Camargo y Alonso, 2006](#); [Manahan, 2007](#)).

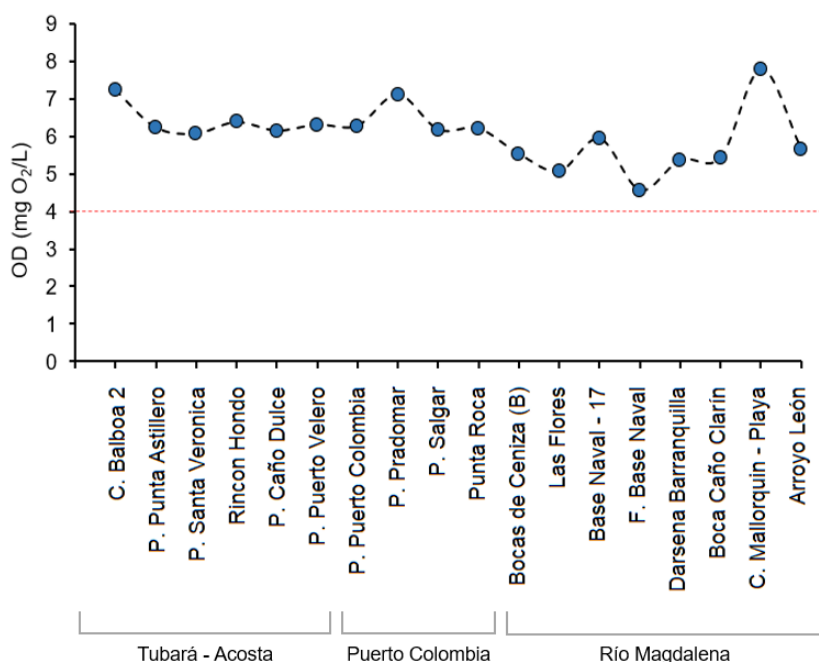


Figura 4-10. Valores de oxígeno disuelto (OD) medidos durante la salida de campo REDCAM Atlántico.

El pH del agua superficial de las estaciones con agua tipo dulce en las estaciones ubicadas en el Río Magdalena (B. Clarín, Base Naval -17, Boca de Ceniza (B), Dársena Barranquilla, F. Base Naval y Las Flores) fluctuó dentro de los valores óptimos de acuerdo con lo establecido por la legislación colombiana para la preservación de flora y fauna para agua dulce cálida (4,5 – 9,0; [Minambiente, 2015](#); Figura 4-11). El pH del agua superficial en las estaciones Ciénaga de Mallorquín – Urbanización la Playa y Desembocadura Arroyo León clasificadas como marinas fluctuó dentro de los valores óptimos para la preservación de flora y fauna (6,5 – 8,5; [Minambiente, 2015](#)). No obstante, las estaciones ubicadas en la zona Tubará-Acosta (Punta Astilleros, Santa Verónica, Rincón Hondo, Caño dulce y Puerto Velero) y Puerto Colombia (Salgar y Punta Roca) clasificadas como agua marina, estuvieron por encima de los valores óptimos (8,51 – 9,11) para la preservación de flora y fauna, indicando una alta productividad primaria, los cuales pueden ser efecto de la proximidad a centros urbanos y turísticos lo que aumenta la deposición de residuos sólidos y la descarga de contaminantes ([INVEMAR-CRA, 2023](#)). Por otro lado, a pesar de que la estación Ciénaga de Balboa, se clasificó como agua salmuera, su pH (8,08) está dentro los valores óptimos de los criterios (6,5 – 8,5).

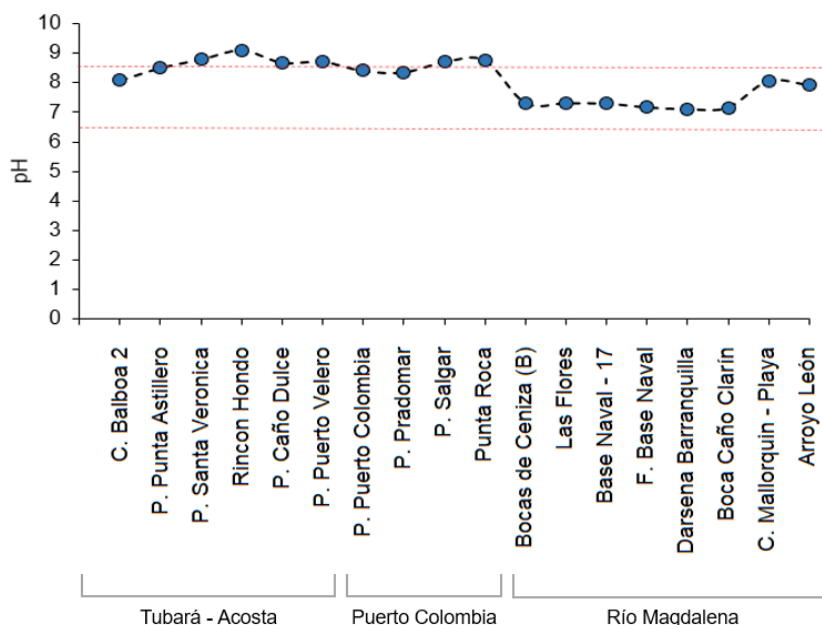


Figura 4-11. Valores de pH medidos durante la salida de campo REDCAM Atlántico.

Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

El incremento de las actividades antrópicas en las zonas costeras en los últimos años ha intensificado la necesidad de monitorear la calidad de las aguas destinadas al turismo y la recreación, con el fin de evaluar las amenazas para los ecosistemas marinos y costeros, así como para la salud humana ([Moscarella et al., 2011](#)). Para evaluar la calidad de aguas recreativas, se evaluaron las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE), tomando como referencia los límites permisibles para uso recreativo de contacto primario establecidas en la legislación nacional <200 NMP/100mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE, y <1.000 NMP/100mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT ([MinAmbiente, 2015](#)); y con los valores de referencia internacional para EFE, de <100 UFC/100mL ([Unión Europea, 2006](#)).

Las actividades humanas, como la agricultura, el vertimiento de aguas residuales y el turismo, contribuyen significativamente a la contaminación de las aguas costeras. Las cuencas agrarias y urbanas son las principales fuentes de contaminación fecal ([Sherchan et al., 2022](#)). En este contexto, el monitoreo microbiológico se convierte en una herramienta esencial para evaluar los riesgos asociados a la salud pública en zonas costeras con alta actividad turística ([Gitter et al., 2020](#)).

Las estaciones Ciénaga de Balboa 2, Caño Dulce, Puerto Velero, Puerto Colombia, Pradomar, Salgar y todas las estaciones ubicadas sobre el Río Magdalena, presentaron concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) por encima del límite permisible por contacto primario con excepción de la estación Playa Caño Dulce, donde las concentraciones de CTT, estuvieron por debajo del límite permisible por contacto primario (Figura 4-12).

Cabe destacar que durante el monitoreo de las estaciones REDCAM en septiembre 2024, la zona Tubará-Acosta presentó nuevamente estaciones con concentraciones de CTE y CTT por debajo del límite permisible para uso recreativo de contacto primario como Santa Verónica (CTT y CTE: 27 NMP/100 mL) y Punta Astillero (CTT: 21 NMP/100 mL y CTE: 4 NMP/100 mL). Mientras que todas las estaciones ubicadas en la zona del río Magdalena siguen presentando concentraciones de CTE y CTT por encima del límite permisible para contacto primario.

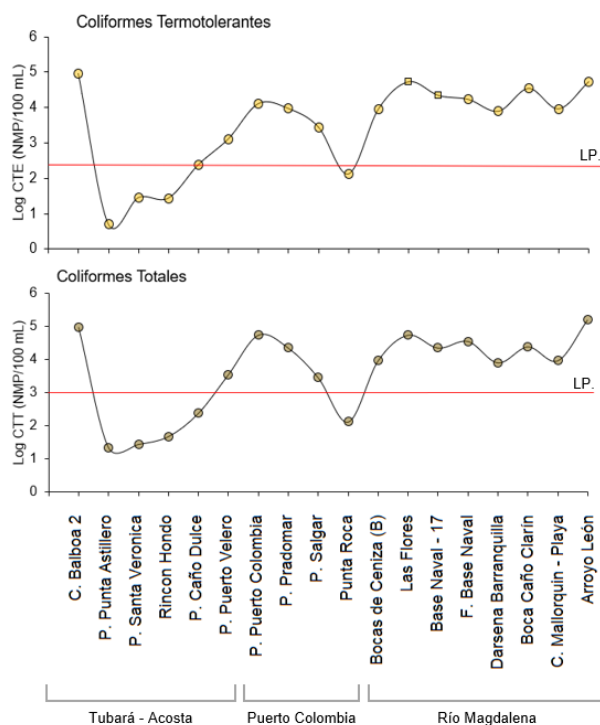


Figura 4-12. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Atlántico durante la salida de campo del 9 al 11 de septiembre de 2024. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permisible.

Por otra parte, en las estaciones Playa Pradomar, Punta Roca, Punta Astillero, Santa Verónica y Caño Dulce se registraron concentraciones de EFE por debajo del valor de referencia propuesto por la Unión Europea (100 UFC/100 mL o 2 log UFC/100 mL; [Unión Europea, 2006](#)), no obstante, las estaciones de Salgar y Puerto Velero superaron el valor de referencia propuesto por la [OMS](#)

(2003) de >40 UFC/100 y la estación de Puerto Colombia registró concentraciones de EFE por encima de los dos valores de referencia de la [OMS \(2003\)](#), lo que representa un riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales y respiratoria Febril Aguda, respectivamente (Figura 4-13; Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

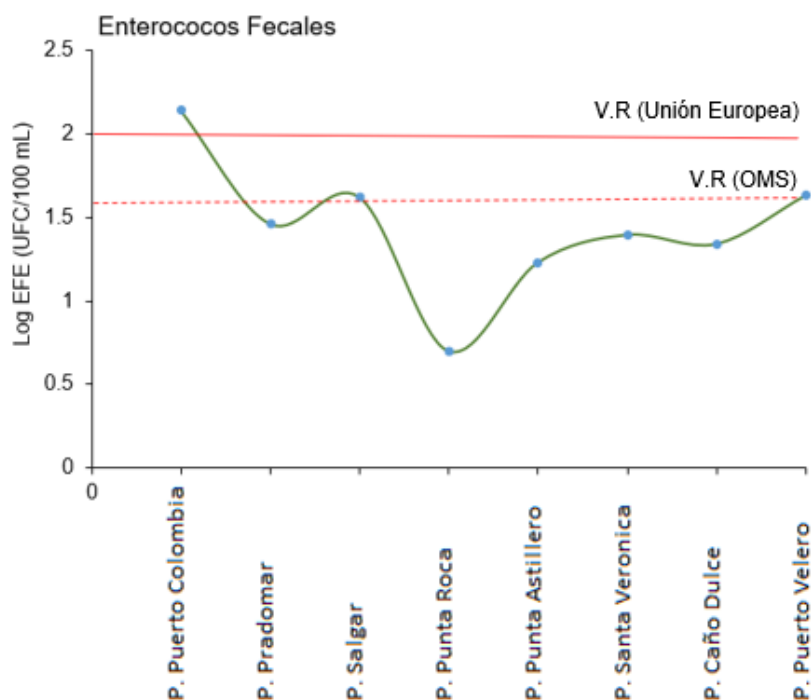


Figura 4-13. Concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Atlántico durante la salida de campo del 9 al 11 de septiembre de 2024. El valor de referencia corresponde a 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL) para EFE. Línea roja V.R: Valor de referencia.

Estas concentraciones de Enterococos Fecales junto con el reporte para Coliformes Totales son indicadores de contaminación fecal ([Manjarrez et al., 2019](#)); por lo tanto, se recomienda implementar acciones para el tratamiento de las aguas residuales municipales costeras, que permitan reducir el impacto de estos residuos sobre el recurso hídrico marino del departamento.

El análisis histórico de microorganismos indicadores de contaminación fecal, evidenció que las estaciones de P. Puerto Colombia, P. Pradomar y P. Salgar 2, presentaron niveles de cumplimiento medios y bajos de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) (Figura 4-14). Sin embargo, se observaron excepciones en 2019 en P. Salgar que presentó niveles de cumplimiento alto para CTT, y en 2023, para CTE. Durante 2023, las estaciones de P. Puerto Colombia, P. Pradomar y P. Salgar 2, alcanzaron niveles de cumplimiento alto para CTT, en P. Puerto Colombia y P. Pradomar los niveles de cumplimiento

para CTE permanecieron bajos. En 2024, las condiciones se deterioraron, con niveles de cumplimiento bajos tanto para CTE como para CTT en estas mismas estaciones, excepto en P. Pradomar y P. Salgar 2, donde se registraron niveles de cumplimiento alto para EFE. Estos resultados reflejan la influencia de vertimientos de aguas residuales y del río Magdalena, factores que contribuyen significativamente a la contaminación orgánica en la región ([CRA, 2022](#)).

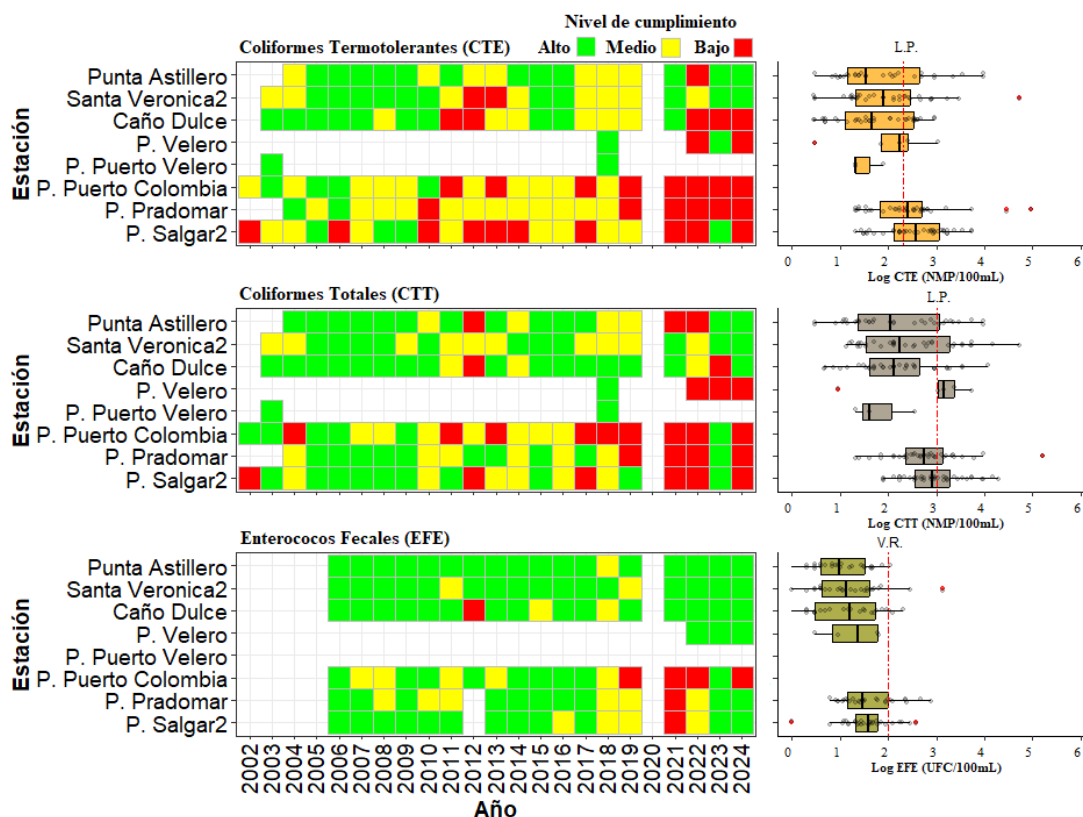


Figura 4-14. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Atlántico. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% ($\geq 50\% < 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Bajo, cuando menos del 50% ($< 50\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. L.P: Límite Permissible. V.R: Valor de referencia.

En relación a los metales disueltos en agua, en las estaciones Las Flores, F. Base Naval y Bocas de Ceniza (B) de la zona Río Magdalena que tienen características de agua dulce, se registraron concentraciones de cobre (Cu) de 2,66 $\mu\text{g/L}$, cromo hexavalente (Cr^{+6}) entre 5,07 y 6,27 $\mu\text{g/L}$, zinc (Zn) entre 24,8 y 25,3 $\mu\text{g/L}$ y hierro (Fe) 159 $\mu\text{g/L}$, registros que están por debajo del valor de referencia para efectos crónicos (2,5 y 5 $\mu\text{g/L}$ respectivamente; [Buchman, 2008](#)). Las concentraciones reportadas en el 2024 (época seca) fueron similares con respecto al año 2023

durante la misma época climática (INVEMAR, 2024). El resto de metales disueltos, mostraron valores que estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico empleado en el LABCAM (2,5 $\mu\text{g/L}$ para Cd, 2,5 $\mu\text{g/L}$ para Cu, 100 $\mu\text{g/L}$ para Cr, 5 $\mu\text{g/L}$ para Cr^{+6} , 0,3 $\mu\text{g/L}$ para Hg, 7,5 $\mu\text{g/L}$ para Ni y 12,5 $\mu\text{g/L}$ para Pb; Figura 4-15).

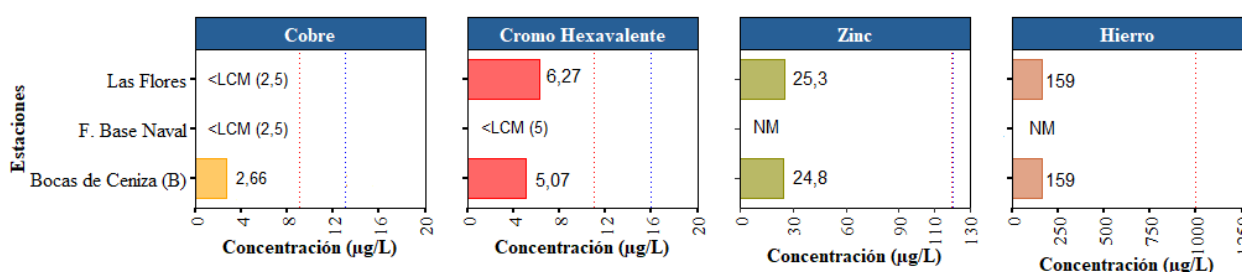


Figura 4-15. Concentración de metales disueltos en agua en las estaciones de agua dulce del departamento del Atlántico, colectadas en septiembre del 2024De acuerdo con lo de la desvet.

Sin embargo, se dejó así para presentar la información de forma homogénea con los resultados de los demás países.. Los valores de referencia para efectos crónicos y efectos agudos se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). Las líneas verticales rojas representar los valores de referencia para efectos crónicos y las de color azul para efectos agudos. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM. NM: No medido.

En cuanto a los metales disueltos en agua marina/estuarina, en las estaciones Punta Roca, P. Velero, C. Mallorquín-Playa y Arroyo León, se presentaron concentraciones de cromo hexavalente (Cr^{6+}) de 13 $\mu\text{g/L}$, de zinc (Zn) entre 9,61 y 11,7 $\mu\text{g/L}$ y de hierro de 15,4 $\mu\text{g/L}$. Las concentraciones reportadas en la época seca fueron menores a las registradas en el año 2023 en la misma época climática (INVEMAR, 2024). Para el resto de metales disueltos en agua marina/estuarina en las demás estaciones, todos los valores estuvieron por debajo del límite de cuantificación empleado en el LABCAM (2,5 $\mu\text{g/L}$ para Cd, 2,5 $\mu\text{g/L}$ para Cu, 100 $\mu\text{g/L}$ para Cr, 5 $\mu\text{g/L}$ para Cr^{+6} ; 0,3 $\mu\text{g/L}$ para Hg, 7,5 $\mu\text{g/L}$ para Ni, 12,5 $\mu\text{g/L}$ para Pb, 5 $\mu\text{g/L}$ para Zn y 12,5 $\mu\text{g/L}$ para Fe; Figura 4-16).

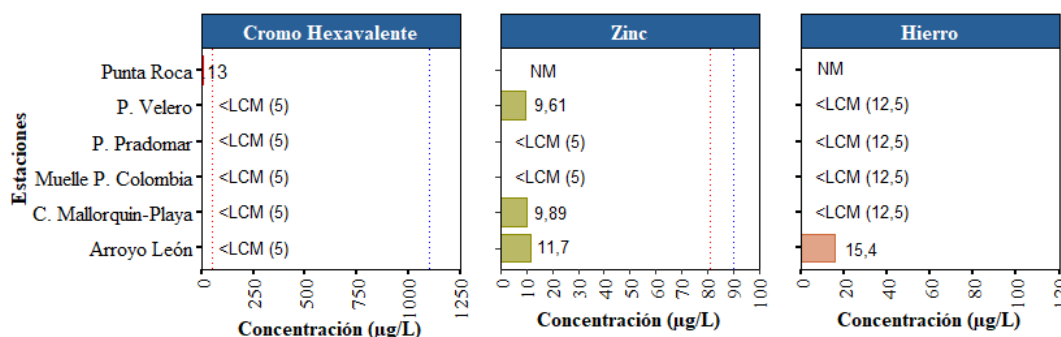


Figura 4-16. Concentración de metales disueltos en agua en las estaciones de agua dulce del departamento del Atlántico, colectadas en septiembre del 2024. Los valores de referencia para efectos crónicos y efectos agudos se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). Las líneas verticales rojas representar los valores

de referencia para efectos crónicos y las de color azul para efectos agudos. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM. NM: No medido.

4.4.2 Calidad de sedimentos y arena de playa

Los análisis de granulometría realizados en las muestras de sedimento recolectadas en la estación P. Velero, revelaron un contenido de 6,19% de Lodo y 93,76% de Arena (Figura 4-17). Según la metodología de [Folk & Ward \(1957\)](#), el sedimento fue clasificado como Arena Fina, con un diámetro de partícula de 137,5 μm (Figura 4-18). Este tipo de sedimento ha predominado durante los últimos años ([INVEMAR, 2024](#)). En el sedimento de la estación Base Naval – 17, el 74,1% fue Lodo y un 25,71% Arena, clasificándose como Limo grueso, con un diámetro de partícula de 69,00 μm , que igualmente ha sido el tipo de sedimentos característico en los últimos años, con diámetros de partícula promedios generalmente inferiores a 63 μm . No obstante, en el año 2022, durante la temporada de lluvias, se observaron variaciones que podrían atribuirse a la influencia de este evento climático ([INVEMAR, 2024](#)). Es importante destacar que el limo grueso es característico de zonas con bajo dinamismo hídrico, donde la escasa circulación del agua favorece el asentamiento y acumulación de partículas finas, formando depósitos de limo ([Yang et al., 2017](#); [Wang et al., 2024](#)).

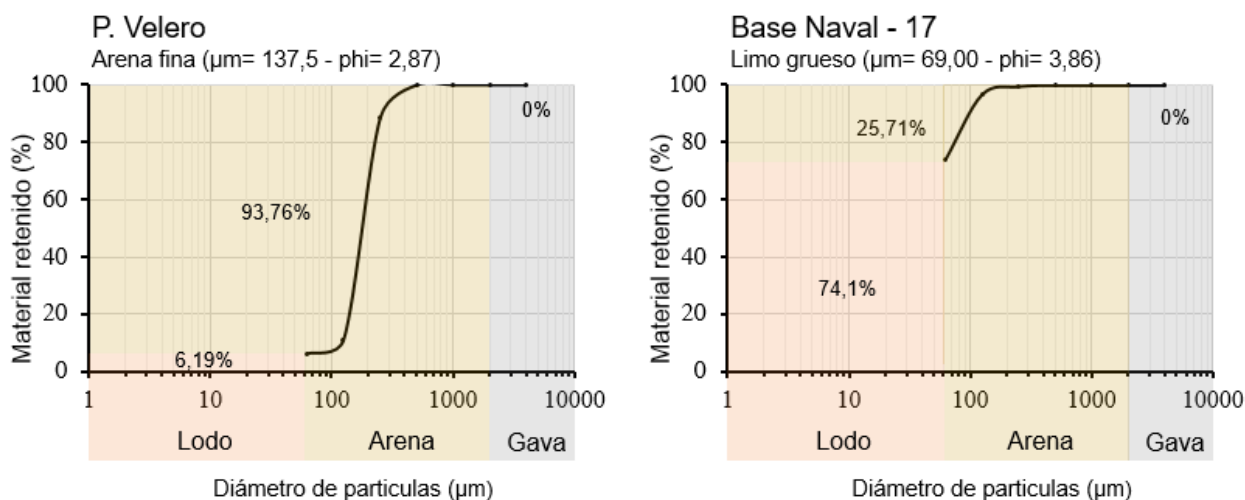


Figura 4-17. Curva granulométrica de las muestras de sedimentos recopiladas en el 2024 (septiembre), en la estación Puerto Velero y Base Naval-17 en el departamento del Atlántico.

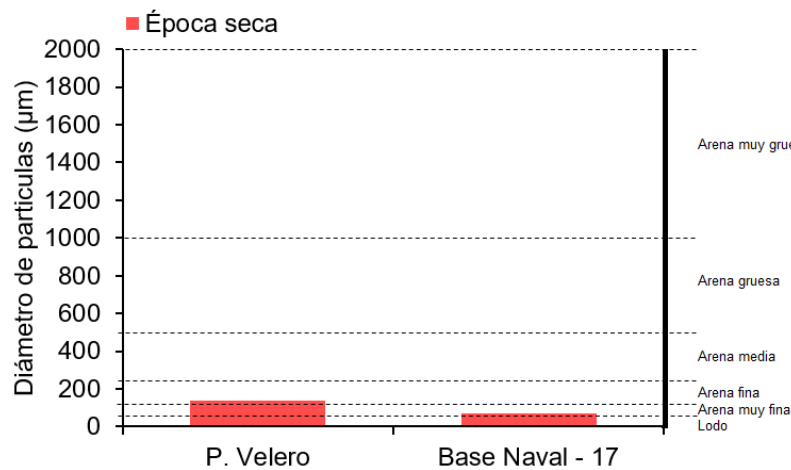


Figura 4-18. Tamaño medio de partícula del sedimento (μm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en septiembre del año 2024, en el departamento del Atlántico. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

El análisis microbiológico para determinar la calidad de los sedimentos se llevó a cabo en las estaciones de Puerto Colombia, Pradomar y Salgar, donde se evaluaron las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT), Enterococos Fecales (EFE) y dermatofitos.

Los valores de CTE en los sedimentos de las playas de Pradomar (270 NMP/10 g) y Puerto Colombia (170 NMP/10 g) superaron el límite permisible de 100 NMP/10 g establecido por la Norma Técnica Sectorial Colombiana NTS-TS 001-2 para playas con fines turísticos ([ICONTEC y Universidad Externado de Colombia, 2009](#) ; [García et al., 2024](#)). Esto evidencia el incumplimiento de los estándares de calidad requeridos para estas zonas y resalta la necesidad de implementar acciones correctivas. En contraste, la playa de Puerto Velero presentó un valor de 14 NMP/10 g de CTE, lo que sugiere una baja contaminación fecal reciente y, por ende, un riesgo mínimo para la salud pública asociado con este indicador. No obstante, se recomienda continuar con el monitoreo de esta playa para detectar posibles variaciones a lo largo del tiempo.

En las playas de Pradomar y Puerto Colombia se registraron concentraciones de CTT de 2.400 NMP/10 g y 3.500 NMP/10 g respectivamente, niveles elevados que superan el límite permisible de 1.000 NMP/100 mL o 3 log NMP/100 mL establecido en el artículo 42 del Decreto 1594 de 1984 ([Ministerio de Salud, 1984](#); [Gómez-Cuertas y López, 2020](#)). Estos resultados sugieren una contaminación derivada de aguas residuales no tratadas o escorrentías urbanas y agrícolas. Por otro lado, en la playa Puerto Velero se registró una concentración de CTT de 26 NMP/10 g, lo que la posiciona como la estación con menor contaminación fecal y sugiere una mejor calidad de los sedimentos en esta área. Aunque los valores de CTT, al igual que los CTE, en los sedimentos fueron inferiores a los registrados en el agua, existe una proporcionalidad entre ambas matrices para cada una de las estaciones evaluadas. En este sentido, Puerto Colombia se

destacó como la estación con los niveles más elevados de contaminación por CTT en ambas matrices (Figura 4-19).

Las concentraciones de EFE en las tres estaciones de estudio, oscilaron entre 190 y 310 UFC/10 g (equivalentes a 2,3 – 2,5 log UFC/100 mL, Figura 4-193), valores que superan los valores de referencia propuestos por la OMS (2 log UFC/100 mL; [OMS, 2003](#)). Lo cual indica la existencia de contaminación fecal. Si bien estos niveles no representan un riesgo extremo para la salud, son preocupantes en áreas destinadas a actividades recreativas o de pesca, donde la exposición a estos microorganismos podría ser perjudicial. Es importante destacar que los EFE son más resistentes a condiciones halófilas, de congelación y de desecación, en comparación con las bacterias coliformes, lo que los convierte en un indicador más estable de contaminación fecal para aguas marinas y costeras ([Jin et al., 2004](#); [Larrea-Murrell et al., 2013](#)). Esta mayor resistencia explicaría porque se encontraron en mayores concentraciones en la matriz de sedimento con respecto a la matriz de agua, a diferencia de los coliformes (Figura 4-19).

En relación con los dermatofitos, hongos infecciosos queratinofílicos, no se detectó su presencia en ninguna de las tres playas muestreadas. No obstante, se recomienda continuar con el monitoreo, ya que los sedimentos arenosos actúan como un reservorio ideal de parásitos y representan un riesgo potencial de infección en humanos por contacto directo ([Manjarrez et al., 2019](#)). Además, los dermatofitos tienen la capacidad de formar esporas resistentes, lo que les permite sobrevivir en la arena durante períodos prolongados, que pueden variar entre 25 y 360 días ([OMS, 1998](#); [Carrillo-Munoz et al., 1990](#)). Es importante destacar que los dermatofitos son los agentes causales de las dermatofitosis, infecciones que afectan los tejidos queratinizados, como la piel, el cabello y las uñas ([Cruz y Vielle, 2024](#)).

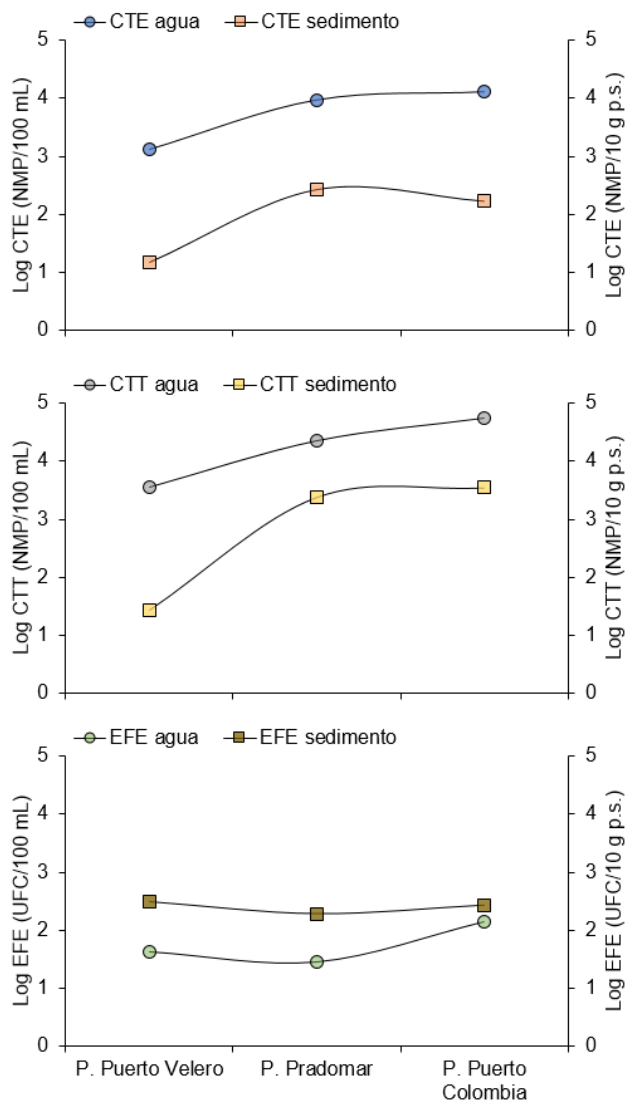


Figura 4-19. Logaritmo de la concentración de Coliformes termotolerantes (CTE), Coliformes totales (CTT) y Enterococos fecales (EFE) en las matrices de agua y sedimento en las tres estaciones REDCAM Atlántico durante la salida de campo del 9 al 11 de septiembre de 2024.

En cuanto a los metales totales en sedimentos marinos y fluviales, en el muestreo del 2024 (época seca), las mayores concentraciones de (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), zinc (Zn) y hierro (Fe) se registraron en la estación Base Naval – 17 (Figura 4-20), con registros de 75,6 µg/g de cromo (Cr) y 147 µg/g de zinc (Zn), por encima del valor de referencia para efectos umbral TEL (37,3 µg/g para Cr y 123 µg/g para Zn; [Buchman, 2008](#)) y la concentración de hierro (Fe) fue de 40 mg/g, el resto de concentraciones estuvo por debajo del valor de referencia para efectos lumbral (TEL). En la estación P. Velero, la concentración de zinc (Zn) 44,5 µg/g estuvo por

debajo del valor TEL (124 $\mu\text{g/g}$ para Zn; [Buchman, 2008](#)) y la concentración de hierro (Fe) fue de 16,4 mg/g (Figura 4-20). Mientras que las concentraciones de cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni) y plomo (Pb) estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM (12,5 $\mu\text{g/g}$ para Cd, 5 $\mu\text{g/g}$ para Cu, 25 $\mu\text{g/g}$ para Cr, 3 $\mu\text{g/g}$ para Hg, 75 $\mu\text{g/g}$ para Ni y 15 $\mu\text{g/g}$ para Pb).

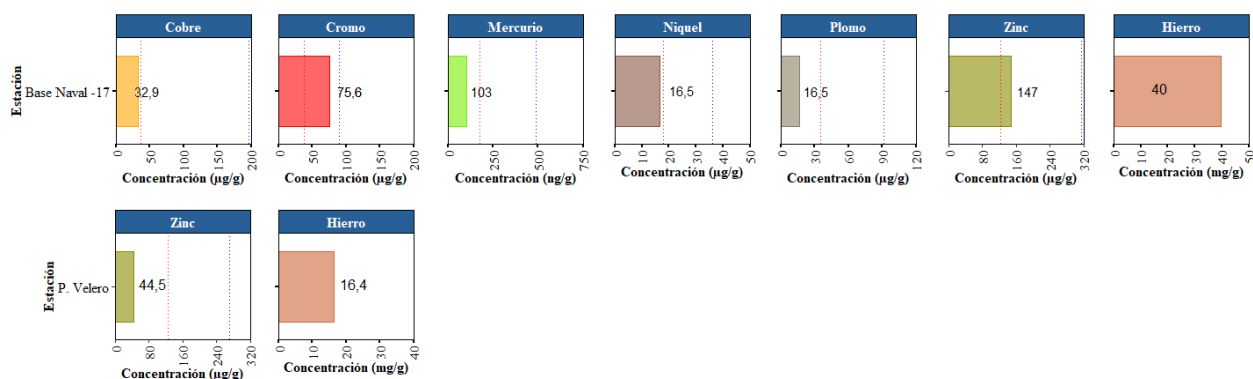


Figura 4-20. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos (P. Velero) y fluviales (Base Naval – 17) recopilados en septiembre de 2024 (época seca) en el departamento del Atlántico. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino y fluviales. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM. NM: No medido.

4.4.3 Contaminación por basura marina y microplásticos en playas turísticas

Durante el muestreo, se observó la presencia de basura marina en todas las playas turísticas muestreadas (Figura 4-21), con abundancias entre 0,07 ítems/ m^2 y 4,0 ítems/ m^2 (Figura 4-21). Las playas que obtuvieron mayores abundancias de basura marina correspondieron a Puerto Colombia (4,0 ítems/ m^2) y Punta Astillero (1,62 ítems/ m^2 ; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**4). Mientras que las playas que presentaron menor concentración de basura marina fueron las playas de Caño Dulce (0,11 ítems/ m^2) y Puerto Velero (0,07 ítems/ m^2).



Figura 4-21. Actividades antrópicas (A) y basura marina (B) en la playa Puerto Colombia en el departamento del Atlántico, registrada en septiembre de 2024.

Se identificó que la playa de Puerto Colombia presentó un aumento en la abundancia de basura marina con respecto a lo obtenido para el mes de septiembre de 2023 (0,29 ítems/m²; [Pacheco et al., 2024](#)), el incremento está influenciado por la incidencia de residuos provenientes del río Magdalena, el cual desemboca en Bocas de Ceniza ubicado en inmediaciones de esta playa, además del aporte turístico y urbano, observado en el área. No obstante, se observó en las demás playas turísticas del Atlántico una disminución en la concentración de basura marina con respecto al año 2023 (Punta Astillero: 7,2 ítems/ m²; Santa Verónica: 1,24 ítems/m²; Caño Dulce: 0,44 ítems/ m²; Puerto Velero: 0,29 ítems/ m²; Salgar: 1,04 ítems/m²; [Pacheco et al., 2024](#)). La playa Punta Astilleros, en el 2024, se posicionó entre las mejores playas del Caribe y como la mejor playa rural de Colombia ([Herrera, 2024](#)), relacionado al control y apoyo en la gestión de residuos en la zona, lo que implicó una disminución en la basura marina en la playa (Figura 4-22).

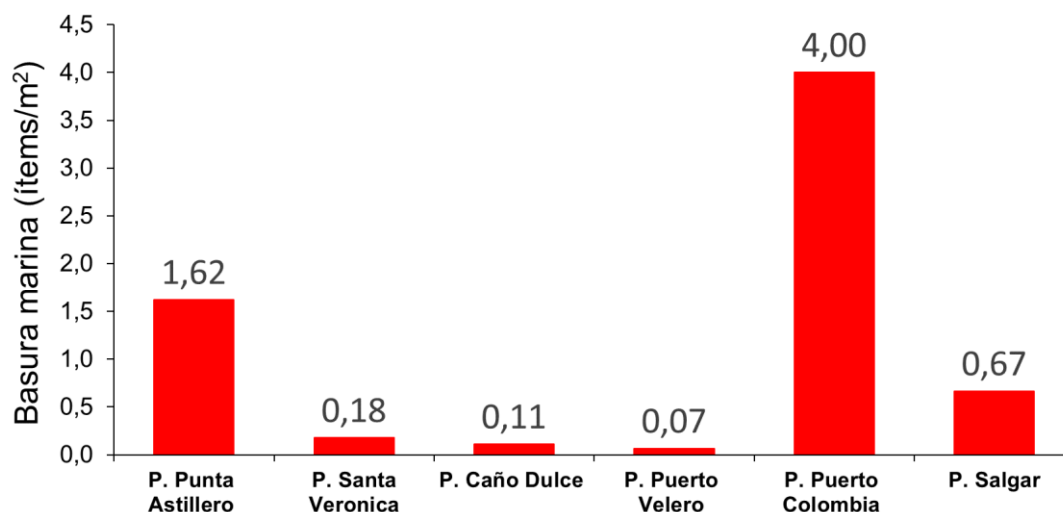


Figura 4-22. Abundancia de basura marina en las playas turísticas priorizadas del departamento del Atlántico, registrada en los muestreos llevados a cabo el 11 de septiembre de 2024.

Se encontraron en la basura marina diferentes tipos de materiales correspondientes a plásticos (96,7%); madera (1%); papel (1,7%) y otros (0,7%; Figura 4-23). Los plásticos se encontraron representados en icopor, tapas de bebidas, vasos y cubiertos desechables, empaques de alimentos, botellas, colillas de cigarrillo, bolsas, palillos y fragmentos de accesorios (Figura 4-24). Los materiales como papel, madera y otros (escombros) se encontraron en menor proporción, en fragmentos o pedazos de estos mismos (Figura 4-24).

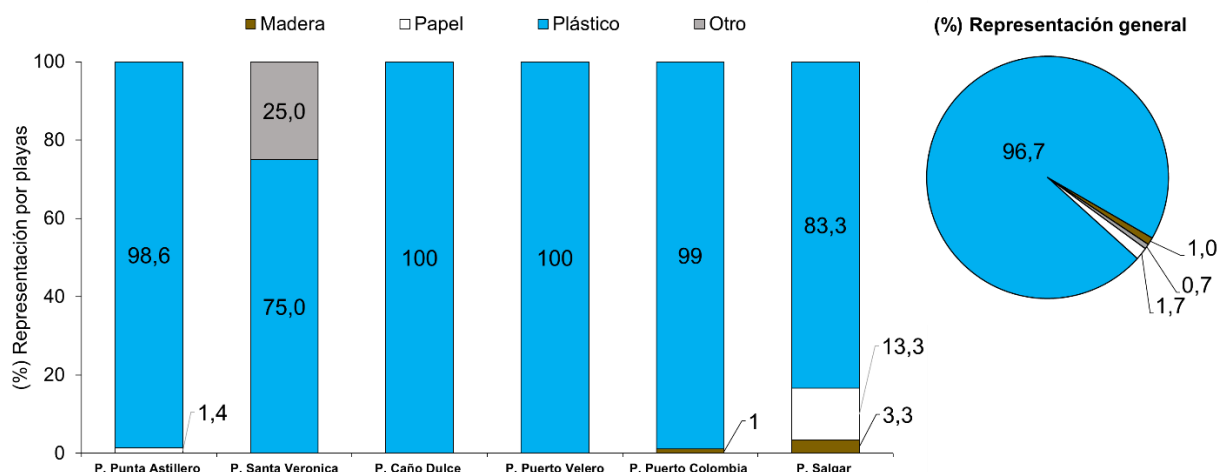


Figura 4-23. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de basura marina caracterizada en las playas turísticas del Atlántico, evaluadas a partir de los muestreos realizados el 11 de septiembre de 2024.

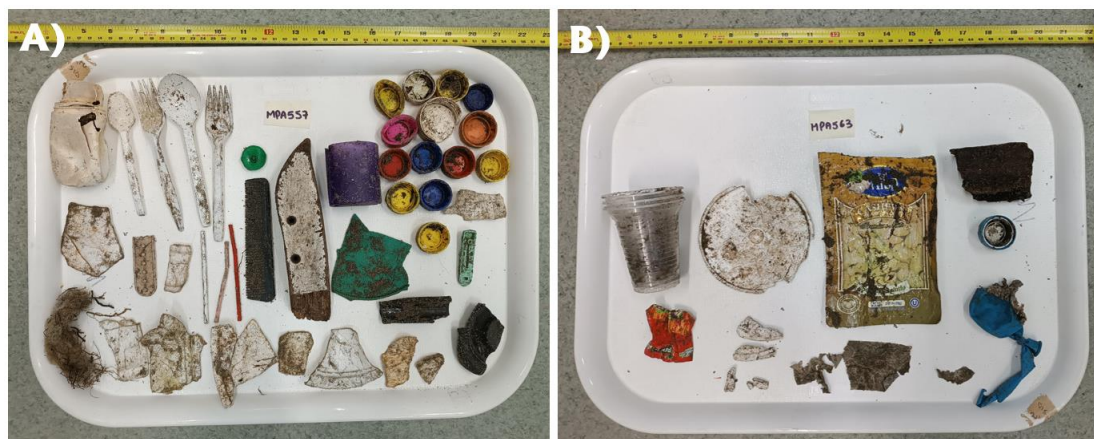


Figura 4-24. Objetos y accesorios plásticos (A y B) encontrados en las playas turísticas priorizadas del departamento del Atlántico, recolectados en los muestreos llevados a cabo el 11 de septiembre de 2024.

Se resalta que los plásticos son el tipo de material de basura marina con mayor representación (>75%) en todas las playas turísticas del Atlántico analizadas en el muestreo (Figura 4-23; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Lo que implica en que no hay un sistema de disposición adecuado de basuras, generando un factor de riesgo para la calidad de agua y la arena de playa (Bejarano *et al.*, 2014), las playas del Atlántico están sometidas a fuentes de contaminación producto de la mezcla de aguas continentales y marinas por influencias en las corrientes originarias en la serranía de Píojó, como a su vez, a la incidencia de arroyos temporales en épocas de lluvias y canales artificiales que comunica a las salinas de Galerazamba con el mar que incide en playas como Punta Astilleros (Cohen-Ballesteros *et al.*, 2013).

En el análisis de los microplásticos (partículas plásticas entre 1 μm - 5 mm) para las playas priorizadas del Atlántico se encontraron concentraciones que oscilaron entre 57,6 – 1.302,4 ítems/ m^2 ; La mayor concentración se registró en las playas de Punta Astillero (1.302,4 ítems/ m^2) y Puerto Colombia (1.094,4 ítems/ m^2) (Figura 4-25). En las playas de Salgar y Santa Verónica se registró la menor concentración de microplásticos, con concentraciones de 176 ítems/ m^2 y 57,6 ítems/ m^2 , respectivamente.

Aunque la playa Punta Astillero correspondió a la estación con mayor concentración de microplásticos, se observó que con respecto a las abundancias presentadas en los años 2022 (3.657,6 ítems/ m^2) y 2023 (3.574,4 ítems/ m^2), su concentración disminuyó, aproximadamente, un 63% ([INVEMAR-CRA, 2023](#); [Pacheco et al., 2024](#)). Mientras que, las demás playas presentaron un aumento en su concentración, a excepción de la playa Santa Verónica, en la cual se observó una reducción del 65% con respecto al año 2023 (167,2 ítems/ m^2). Es de resaltar que en la playa Puerto Colombia, aumentó la concentración de microplásticos, aproximadamente un 300% con respecto al 2023, en el que se registró una concentración 365,5 ítems/ m^2 .

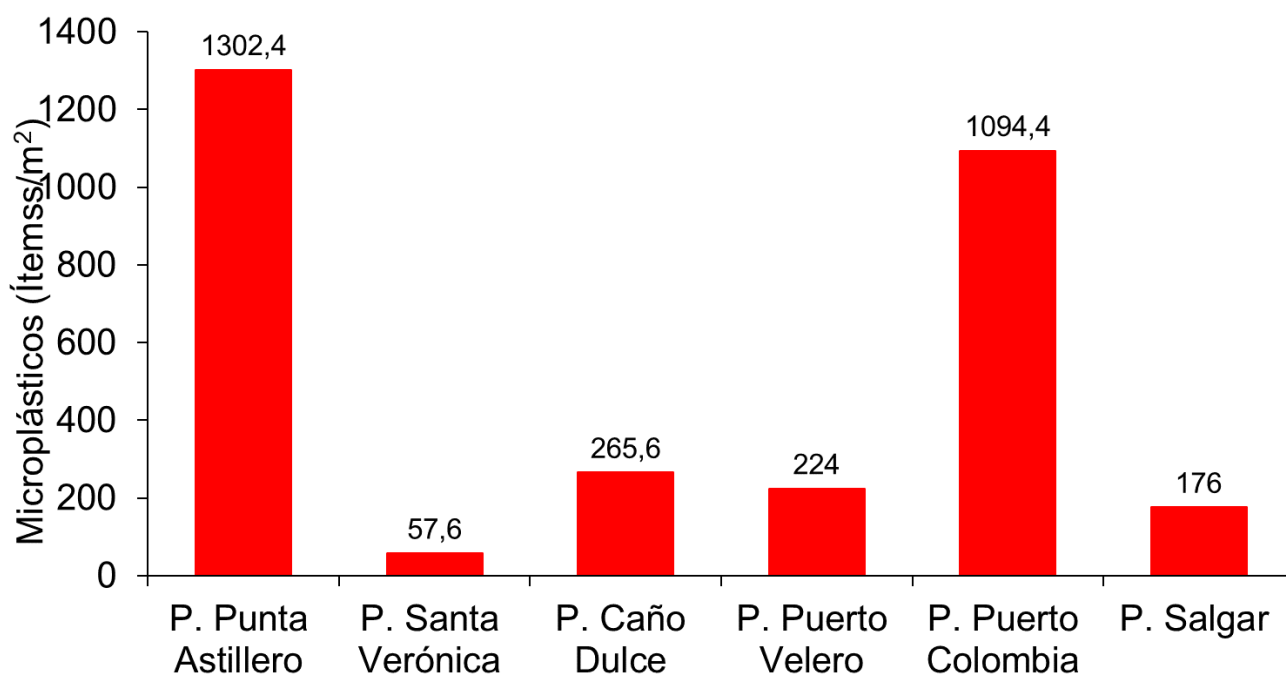


Figura 4-25. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playas priorizadas del Atlántico, colectadas el 11 de septiembre de 2024.

En total se encontraron 975 partículas plásticas, las cuales fueron caracterizadas por su forma. El 58,7% correspondieron a fragmentos, el 28,8% a espumas, el 6,7% a películas, el 4,51% a filamentos y el 1,1% a pellets (Figura 4-26). Esta caracterización es determinante para definir el

origen de los microplásticos, el 1% correspondió a microplásticos de origen primario (pellets), mientras que el 99% correspondió a microplásticos de origen secundario (fragmentos, filamentos, películas y espumas), es decir, la mayoría de microplásticos presentes en arenas de playas priorizadas del Atlántico, provienen de la degradación de plásticos de mayor tamaño como botellas, tapas, icopor, que a su vez, han sido reportados en el análisis de basura marina en las mismas estaciones.

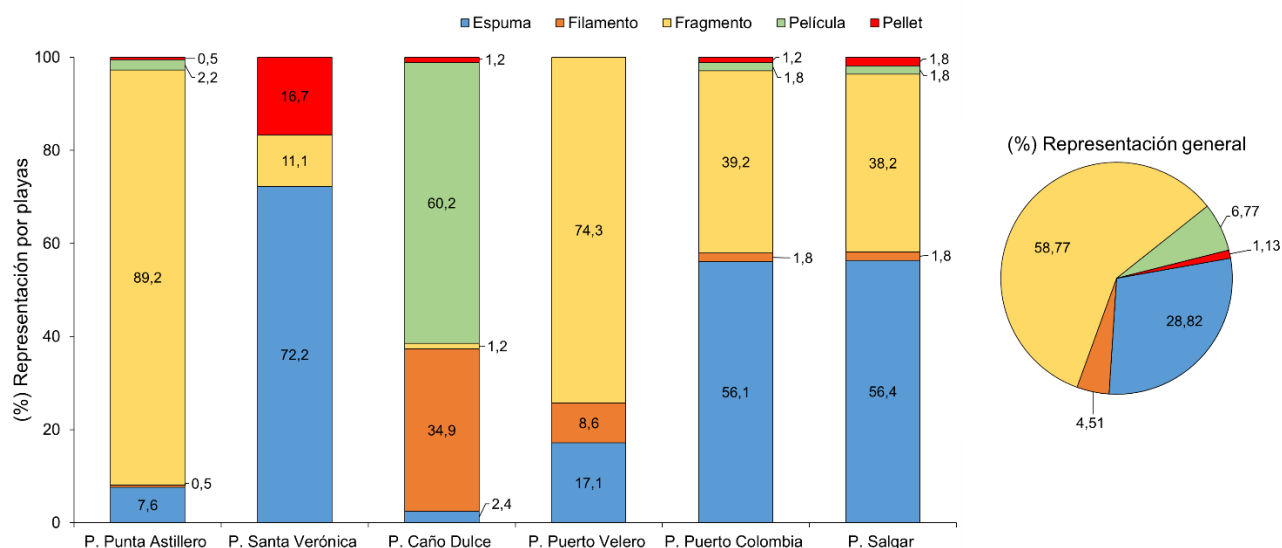


Figura 4-26. Porcentajes de la representación de formas identificadas en los microplásticos de las muestras de arena de playas priorizadas del Atlántico.

4.4.4 Actualización del sistema de información REDCAM

La actualización de sistema de información REDCAM es una labor permanente para mantener el sistema operativo, de forma que los usuarios puedan consultar los servicios, tales como módulo de estadísticas, geovisor de cartografía, consulta de datos, cálculo y visualización del indicador de la calidad de aguas marinas – ICAM (Figura 4-27; Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

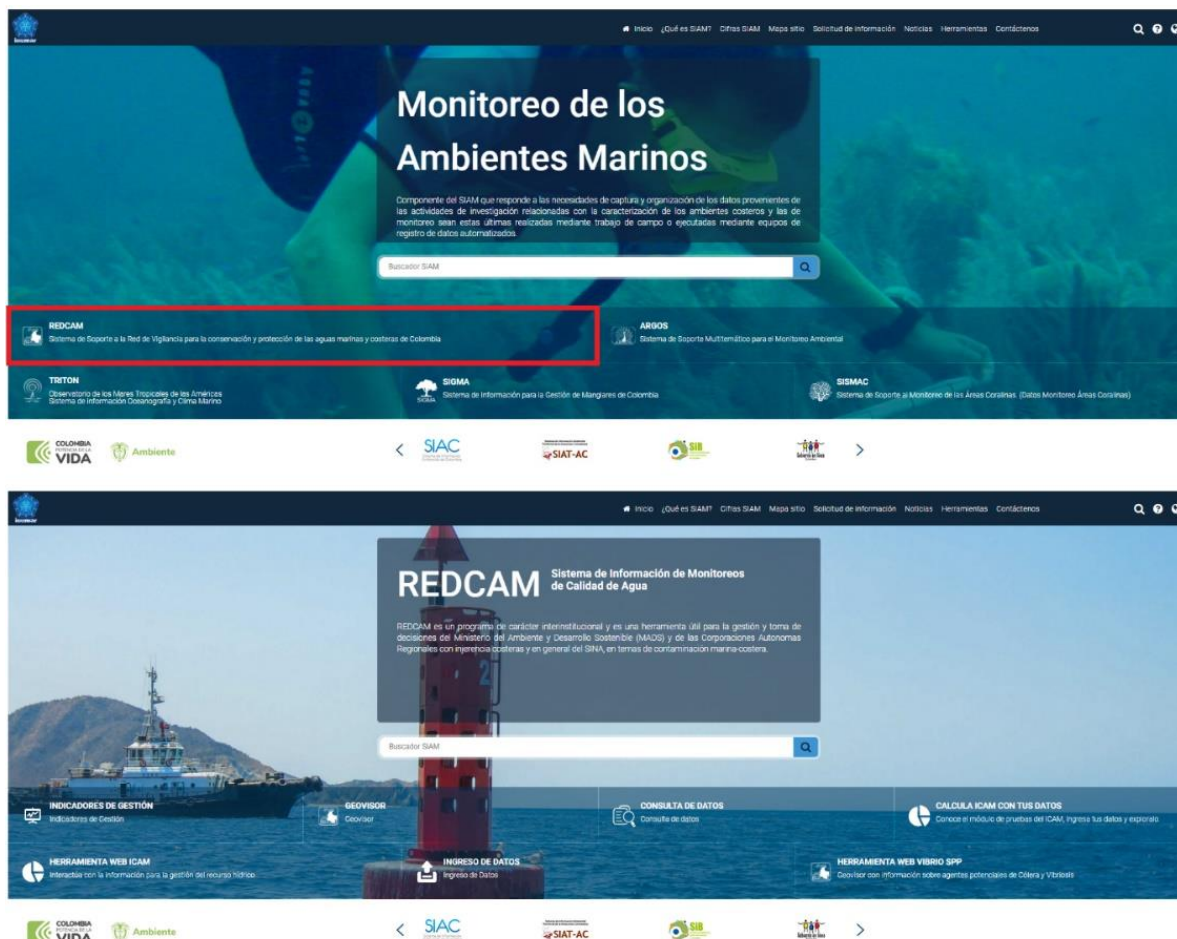


Figura 4-27. Sistema de Información Ambiental Marina – SIAM.

En el marco de las actividades para la gestión del recurso hídrico marino-costero del departamento del Atlántico, se llevó a cabo la actualización de la base de datos y servicios del sistema de información REDCAM mediante la creación del metadato correspondiente al muestreo realizado los días del 09 al 11 de septiembre de 2024; información que está disponible en el portal GeoNetwork del INVEMAR en <https://n2t.net/ark:/81239/m9z124> (Figura 4-28). Asimismo, los datos de calidad de aguas y sedimentos del muestreo Atlántico 2024 se validaron, digitaron e ingresaron a la base de datos del Sistema de Información REDCAM, componente del Sistema de Información Ambiental Marina – SIAM. Además, se llevó a cabo la actualización del módulo de gestión de la información de la herramienta Web ICAM (<https://icam.invemar.org.co>), donde se registró la información relacionada con la programación y ejecución del muestreo realizado en el departamento del Atlántico. La actualización se ve reflejada en el DashBoard, el cual proporciona una visión general del flujo de datos (Figura 4-29).



Servicio de catalogación de información de Metadatos del SIAM

Home | Contact us | Links | About | Help

BASE DE DATOS DE LA REDCAM, MONITOREO CALIDAD DE AGUAS, SEDIMENTOS, MACROPLÁSTICOS (BASURA MARINA) Y MICROPLÁSTICOS EN EL DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO 2024

*** IDENTIFICATION INFO ***

*** Data identification ***

*** Citation ***

Title: BASE DE DATOS DE LA REDCAM, MONITOREO CALIDAD DE AGUAS, SEDIMENTOS, MACROPLÁSTICOS (BASURA MARINA) Y MICROPLÁSTICOS EN EL DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO 2024

*** Date ***

Date type: Publication: Date identifies when the resource was issued

*** Citation identifier ***

Identifier Code: <https://n2t.net/ark:/61239/m09424>

Abstract

En el marco del convenio (CRA 004 - 2024) suscrito con la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) y el INVEMAR, se generó un conjunto de información que incluye los datos de calidad de aguas superficiales, sedimentos, macroplásticos (basura marina) y microplásticos, generados durante la campaña de muestreo a estaciones REDCAM, realizado en el mes de septiembre del año 2024 en la zona marítima y costera del departamento de Atlántico. Las actividades de campo fueron realizadas entre el personal técnico del INVEMAR y acompañamiento de personal de la CRA. La información generada es soporte para el diagnóstico de la calidad de aguas marinas y costeras - REDCAM departamento del Atlántico, incluyendo resultados de microplásticos en playas prioritarias y el reporte del ICAM.

Se tienen registros para 18 estaciones de calidad de aguas superficiales, de las cuales, se recolectaron muestras de sedimentos en dos (2) estaciones y en seis (6) se recolectaron muestras en arena de playa para la determinación de abundancia de microplásticos (basura marina) y microplásticos.

Las variables contenidas en el conjunto de datos en aguas, son:

Temperatura (°C), Conductividad (mS/cm), Salinidad (Unidad), pH (Unidad), Oxígeno Disuelto (mg/L), Porcentaje de Saturación de Oxígeno (%), Transparencia (m), Turbidez (NTU), Nut. Nitratos (µg/L), Nut. Nitratos Amoniacal (µg/L), Nut. Ortofosfatos (µg/L), Silicatos(µg/L), Flúoruro Total (µg/L), Sólidos Suspendedos Totales (mg/L), Clorofila a (µg/L), Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L), Carbono Orgánico Total (mg/L), Hidrocarburos del petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de Cromo (µg/L), Cromo Hexavalente VI (µg/L), Metales Disueltos (Cadmio (µg/L), Plomo (µg/L), Cromo (µg/L), Cobalto (µg/L), Zinc (µg/L), Hierro (mg/L) y Mercurio (ng/L)), Coliformes Totales (NMP/100mL), Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL), Enterococos Fecales (EPC/100mL), Plaguicidas Organoclorados y Organofosforados (ng/L).

Las variables contenidas en el conjunto de datos en sedimentos, son:

Granulometría (%), Carbono Orgánico Total (%), Metales Totales (Cadmio (µg/g), Plomo (µg/g), Cobalto (µg/g), Hierro (mg/g) y Mercurio (ng/g)), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (ng/g), Coliformes Totales (NMP/50g), Coliformes Termotolerantes (NMP/50g), Enterococos Fecales (EPC/g), Plaguicidas Organoclorados y Organofosforados (ng/g).

Las variables contenidas en el conjunto de datos de microplástico (basura marina) están relacionadas con la caracterización según el tipo de material y los microplásticos se clasificaron según origen (primario o secundario) y forma.

Observaciones:

* En las estaciones Desem. Arroyo León (Ciénaga Mallarquin), Ciénaga de Balboa 2 y Frente a Dársena Acueducto no fue posible tomar las muestras en los puntos originales debido a las condiciones de sequía que presentaba el lugar. En consecuencia, las muestras fueron recolectadas a distancias aproximadas de 100, 200 y 200 metros de los puntos originales, respectivamente.

Figura 4-28. Metadato creado de las 18 estaciones realizadas en el monitoreo del 09 al 11 de septiembre de 2024, disponible en GeoNetwork (Servicios de catalogación de información de Metadatos del SIAM).

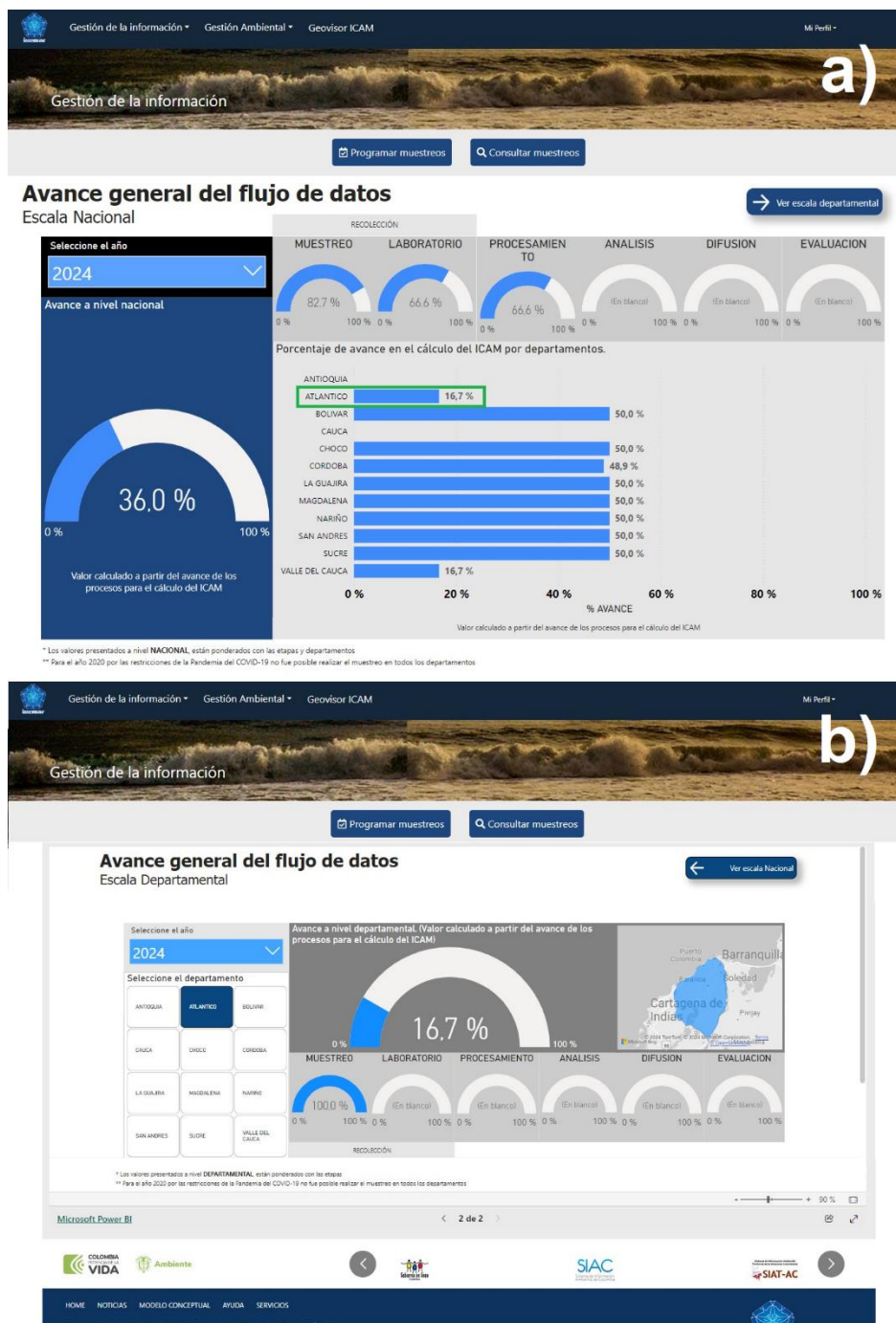


Figura 4-29. DashBoard del avance general del flujo de datos del muestreo realizado en el departamento del Atlántico. a) Flujo de datos del muestro realizado en el departamento del Atlántico a escala nacional. b) Flujo de datos del muestro realizado en el departamento del Atlántico a escala departamental.

Los usuarios de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) y el público en general pueden acceder a los servicios Web REDCAM (Figura 4-30), módulo de estadísticas, geovisor (visor geográfico), indicador de calidad de aguas y cartografía dinámica en línea en <http://siam.invemar.org.co/redcam>. En la Figura 4-30 se presenta la visualización de los resultados del parámetro salinidad medido en la salida de campo REDCAM Atlántico 2024. Además, la información se encuentra disponible para su acceso y descarga por medio de los módulos de consulta de información del portal SIAM Explorer (<https://siamexplorer.invemar.org.co/>) (Figura 4-31 y Figura 4-32).

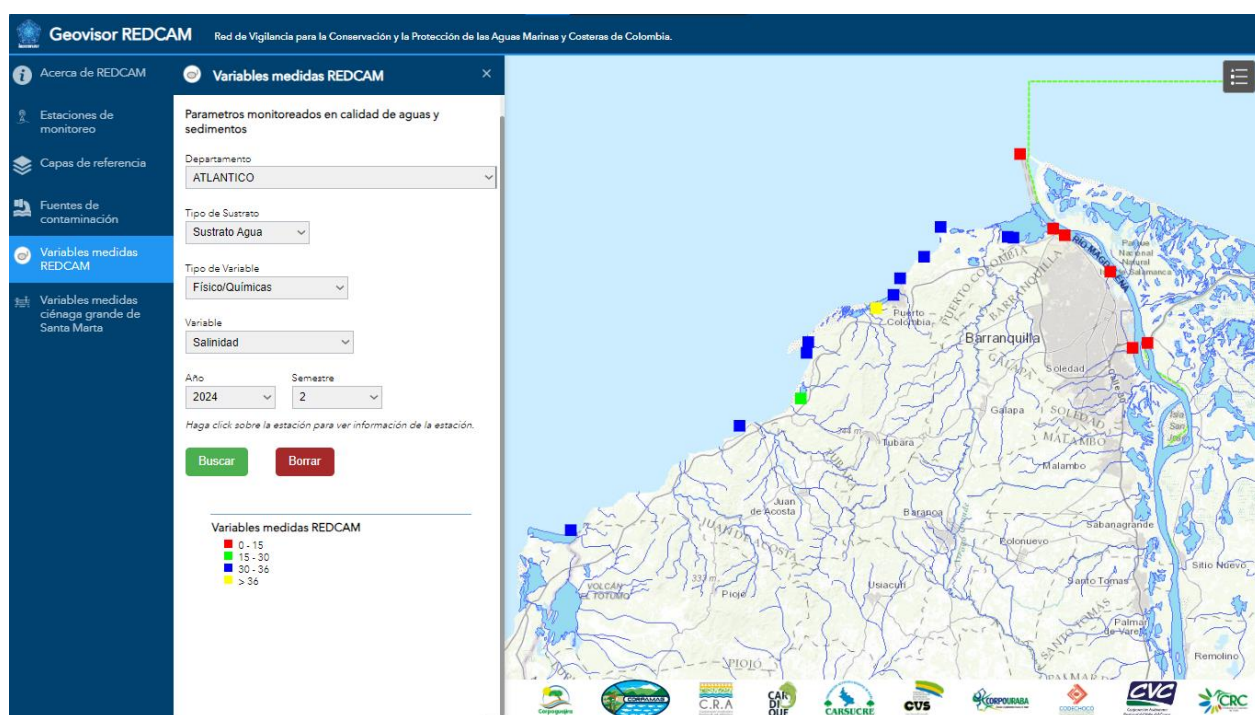


Figura 4-30. Consulta de datos de la variable salinidad del muestreo realizado en el departamento del Atlántico año 2024.

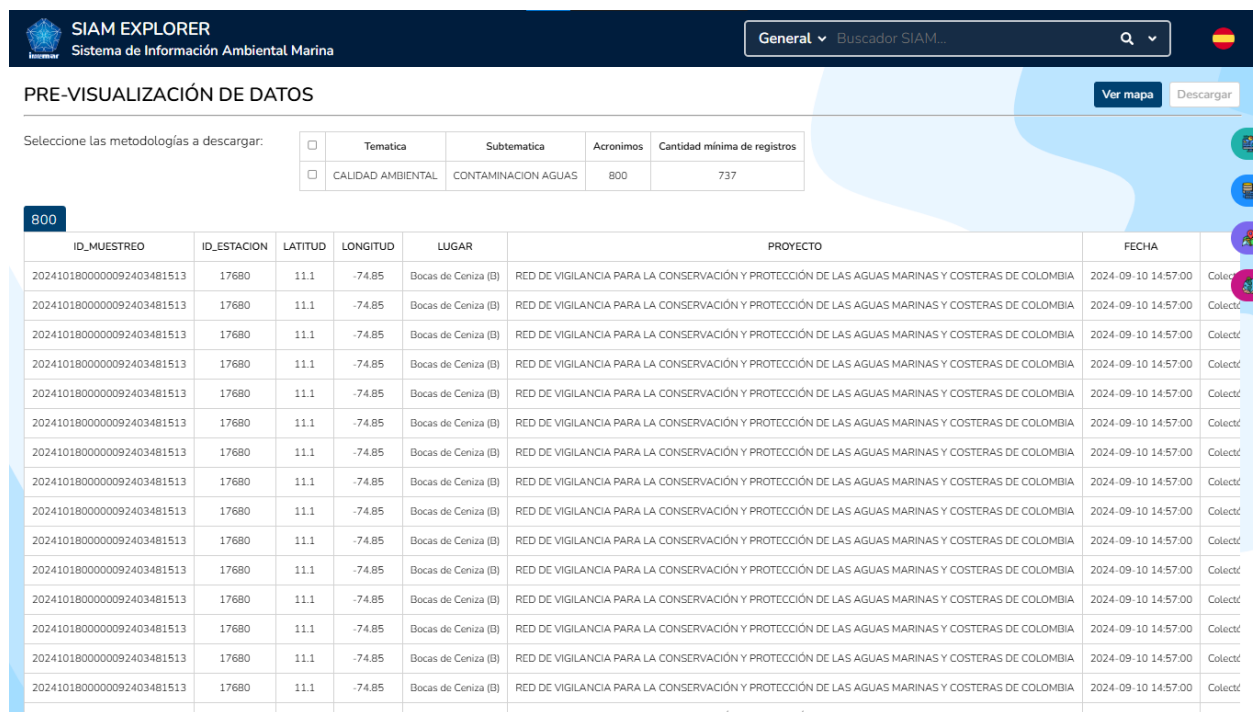


Figura 4-31. Datos disponibles para consulta y descarga del muestreo realizado en el departamento del Atlántico 2024 mediante el portal SIAM EXPLORER (<https://siamexplorer.invemar.org.co/>).

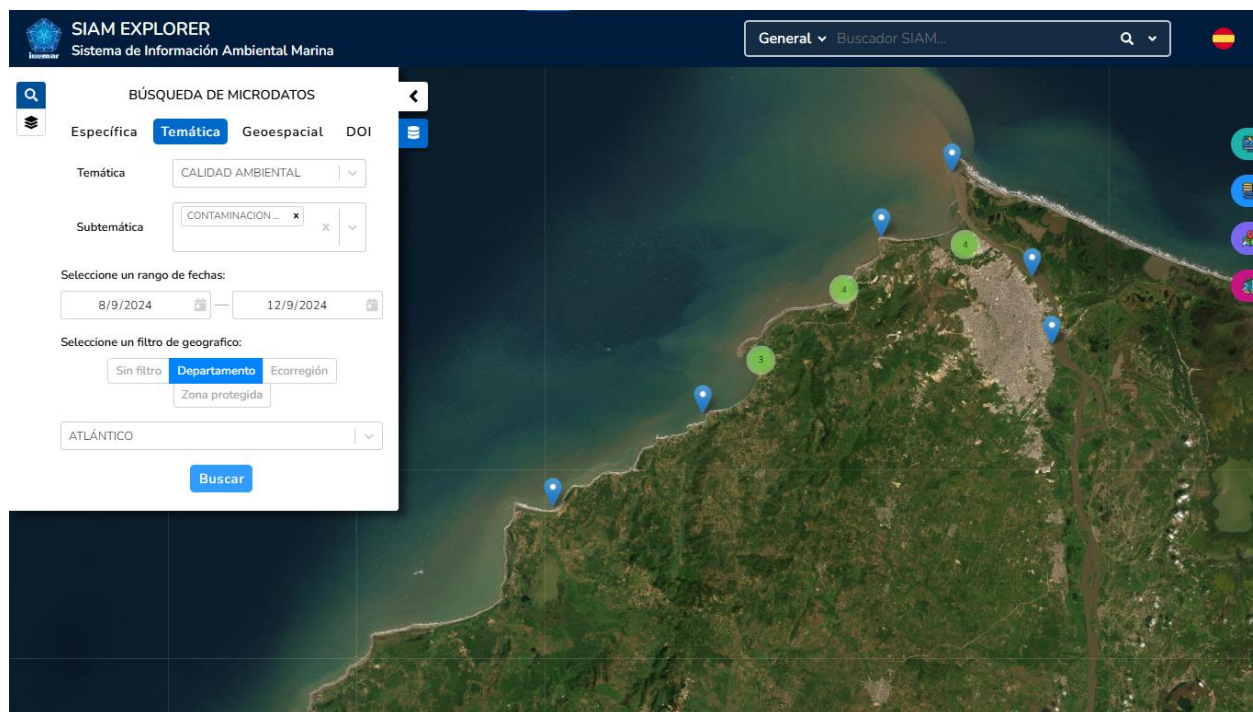


Figura 4-32. Geovisor SIAM EXPLORER: Visualización geográfica de los puntos de monitoreos del muestreo realizado en el departamento de Atlántico 2024.

4.4.5 Curso Taller REDCAM 2024

A través del oficio DGI-SCI-CAM-1544 del 5 de diciembre de 2024 ([Anexo 4](#)) se remitió la invitación a la CRA para ser participe en el Curso Taller REDCAM 2024 “Herramientas del sistema REDCAM para abordar los estresores marinos y costeros énfasis en contaminación por microplásticos y activación del grupo de emergencias ambientales – GAMA.”

El curso taller se realizó con éxito los días 19 y 20 de diciembre de 2024 en modalidad 100% virtual en la plataforma de Microsoft Teams. Los funcionarios designados por la corporación correspondieron a Yury Calderón Urrego y Pedro Mancera Quevedo, los cuales cumplieron con su participación en el evento ([Anexo 5](#)).

4.5 CONCLUSIONES

- La calidad del agua marina y costera del departamento del Atlántico durante la época seca del año 2024, determinada mediante la aplicación del ICAM_{PFF}, reveló que en las estaciones Bocas de Ceniza, P. Puerto Colombia y C. Balboa 2, la calidad de agua marina estuvo entre pésima e inadecuada. Condiciones que están asociadas con las altas concentraciones de nitratos, ortofosfatos, clorofila a y Coliformes Termotolerantes.
- En las estaciones ubicadas en el río Magdalena, se observó el deterioro de la calidad microbiológica con fines recreativos asociados al contacto primario.
- El análisis de la calidad microbiológica de los sedimentos colectados en las estaciones Puerto Colombia y Pradomar, mostró altos niveles de contaminación fecal, lo que incumple los estándares de calidad para zonas turísticas. Esto resalta la necesidad urgente de mejorar la gestión de aguas residuales y escurrientías urbanas y agrícolas. Aunque no se detectaron dermatofitos, se debe continuar el monitoreo por el riesgo que presenta ante la salud pública.
- En la playa Puerto Colombia, se encontró un aumento significativo en la abundancia de basura marina y microplásticos; mientras que, en las estaciones de Punta Astillero, Santa Verónica, Caño Dulce y Puerto Velero, la cantidad de basura marina disminuyó frente a las registradas en el 2023, lo cual evidencia esfuerzos efectivos de gestión de residuos en estos sectores.
- Los resultados de basura marina y microplásticos en las estaciones monitoreadas, muestran la necesidad de reforzar los sistemas de gestión de residuos y la concientización ambiental, especialmente en áreas afectadas por la influencia de ríos y actividades turísticas. La degradación de plásticos grandes en microplásticos resalta un

problema persistente que requiere acciones prioritarias para proteger los ecosistemas marino-costeros del Atlántico

5 UBICACIÓN, EXTENSIÓN, ESTABLECIMIENTO DE LA CONDICIÓN ACTUAL DEL ECOSISTEMA CORALINO EN LA ENSENADA DE PUERTO VELERO

Preparado por: Andrés Acosta-Chaparro, Shanly Coneo-Gómez, Laura Sánchez-Valencia, Raúl Navas-Camacho, Diana Isabel Gómez López, David A. Alonso, Ana María Osorio Granada, David Fernando Morales Giraldo, Constanza Ricaurte Villota

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

5.1.1 Localización

La ensenada de Puerto Velero comprende las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, ubicadas en el municipio de Tubará, departamento del Atlántico, donde también confluyen zonas ecotonales, relieves colinados, planicies fluvio-marinas y planicies fluviales, frente al mar Caribe ([Díaz-Solano et al., 2014](#)). Esta zona, se localiza en el Caribe colombiano y se incluye dentro de la Unidad Ambiental Costera (UAC) del río Magdalena ([INVEMAR, 2007](#)). Dentro de sus características más relevantes están el tener un régimen climático influenciado por los desplazamientos norte-sur de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), y tener un comportamiento bimodal por los vientos alisios, que coinciden con las épocas de viento fuerte (época seca) y de vientos más débiles (época húmeda) ([Osorio et al., 2009](#); [Ferrucho-Maloof et al., 2022](#)).

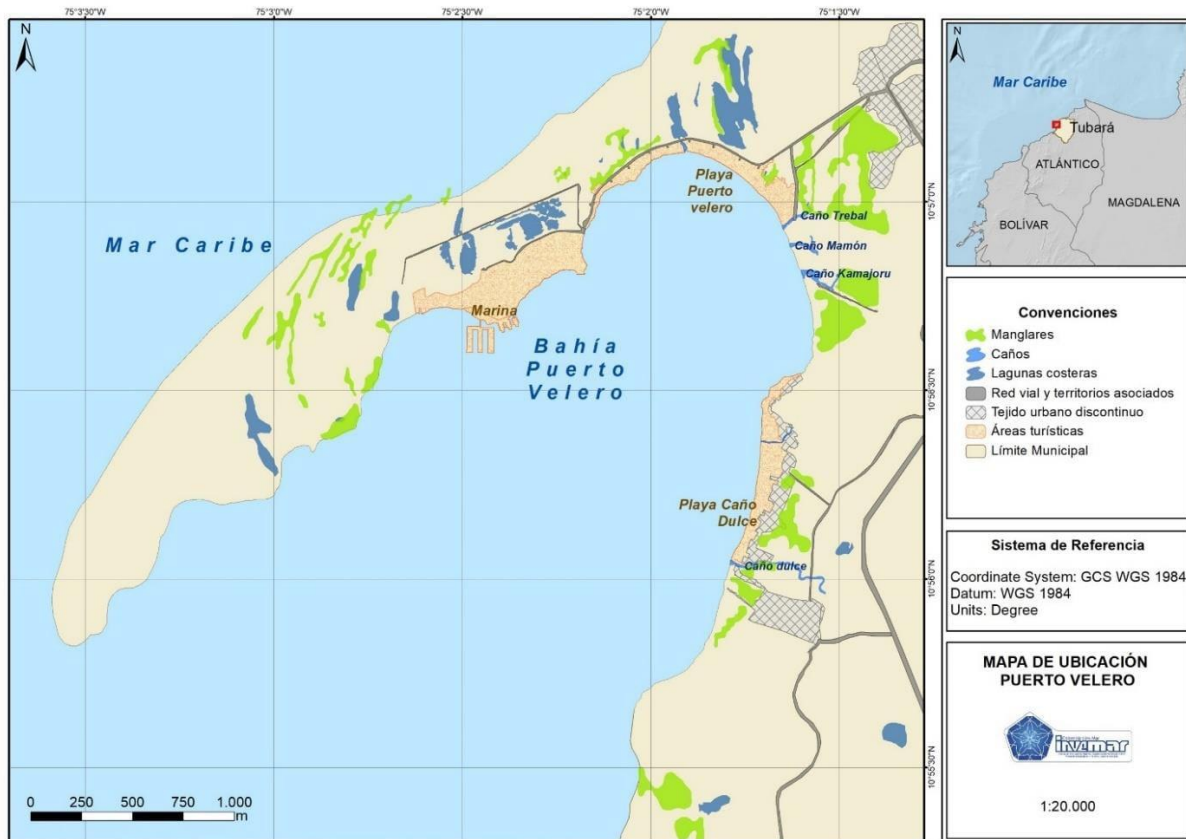


Figura 5-1. Área de estudio del sector de Puerto Velero

Cartográficamente el área de estudio se encuentra enmarcada en las siguientes coordenadas (Tabla 5-1).

Tabla 5-1 Coordenadas geográficas que delimitan el área de estudio.

NW	NE	SW	SE
Lat: 10.935853°	Lat: 10.951616°	Lat: 10.920183°	Lat: 10.944165°
Long: -75.053949°	Long: -75.031401°	Long: -75.035078°	Long: -75.026390°

5.1.2 Geología

Desde el punto de vista regional, el área de estudio se localiza en la esquina noroccidental de Suramérica, en el mar Caribe Colombiano. Esta región tectónicamente activa, se encuentra ubicada dentro de una zona de interacción entre la Placa Caribe y la Placa Suramericana; que comenzó a finales del Cretácico y continua en el presente (Taboada *et al.*, 2000; Flinch, 2003;

[Escalona y Mann, 2011](#); [Barat et al., 2014](#); [Bernal-Olaya et al., 2015](#)). Esta interacción a través del tiempo ha generado en el norte de Colombia y la región Caribe el desarrollo de dos prismas acrecionarios o cinturones plegados, tales como los de Sinú y San Jacinto ([Duque-Caro, 1979](#); [Toto y Kellogg, 1992](#)).

El Cinturón Plegado de San Jacinto corresponde al prisma Paleógeno en el cual se depositaron las unidades más antiguas. Se caracteriza por presentar una tectónica transpresiva con la presencia de fallas inversas con vergencia al oeste y movimiento rumbo dextral, donde se desarrollan pliegues estrechos y alargados ([Marín, J. P et al., 2010](#)). El Cinturón Plegado del Sinú, el prisma actual, corresponde a la parte más externa de la cuña de acreción ([Duque-Caro, 1979](#); [Toto y Kellogg, 1992](#); [Mantilla et al., 2009](#)). Este involucra una secuencia de rocas con edades que van del Oligoceno hasta el reciente, fuertemente afectadas por la actividad tectónica y el diapirismo de lodo ([Marín, J. P et al., 2010](#)). El fenómeno de diapirismo producto del plegamiento de las formaciones sedimentarias revela estructuras como sinclinales amplios y anticlinales estrechos, que se extienden hasta las áreas de plataforma y talud continental dando paso a la formación de volcanes de lodo y colinas; a su vez conformando los archipiélagos y bajos arrecifales que tipifican este sector del Caribe ([Duque-Caro, 1984](#); [Vernette, 1985](#)).

De acuerdo con [Barrera, R. \(2001\)](#), en el área de estudio han sido cartografiadas unidades litológicas pertenecientes a ambos cinturones plegados (Figura 5-2), y son descritas a continuación, de la más reciente a la más antigua:

ROCAS Y DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS CINTURÓN DEL SINÚ

Depósitos de playa (Qmp): Estos depósitos conforman las playas y la espiga de Puerto Velero, la geoforma más representativa del área, la cual ha presentado importantes cambios en su morfología a lo largo de la línea de costa en los últimos 35 años asociados a procesos tanto antrópicos como naturales ([Anaya, 2022](#)). El aporte de sedimentos de estas playas proviene principalmente del Río Magdalena y de otros pequeños afluentes que desembocan en el área.

Depósitos coluvio-aluviales (Qcal): corresponden a depósitos de derrubios acumulados en los cauces de los actuales arroyos y valles relacionados con dichos arroyos localizados entre las colinas. Por ejemplo, los situados al sur de Puerto Velero como Arroyo Caja y Arroyo Susanilla.

Formación La Popa (Qpp): Esta unidad aflora al oriente del área de estudio. Se reportan en su sección inferior calizas arrecifales, amarillo claro, masivas con bioperturbación y arenitas calcáreas de grano fino, con algunos granos gruesos y gránulos y ocasionalmente con la presencia de fragmentos de moluscos pequeños. Hacia la parte superior predominan calizas arrecifales terrígenas, con bioclastos de corales, algas y moluscos, en capas gruesas. Esta formación muestra una morfología de colinas de pendientes suaves y alargadas.

Gravas de Rotinet (Qpr): En el área de estudio esta unidad aflora hacia el sector sur y se distribuye a manera de parches generalmente pequeños con una superficie aproximada de 3,5 km². La litología está representada por una sucesión inconsolidada de capas gruesas de grava y arena con estratificación cruzada de alto ángulo; con la presencia de concreciones de arcillolitas y limolitas ferruginosas.

Formación Tubará (Ngt): En el área de estudio esta formación está expuesta hacia el sureste. Conformada por areniscas de grano fino a grueso, cuarzosas, algunas calcáreas y niveles bioclásticos. Intercalaciones de lodolitas grises a negras.

CINTURÓN DE SAN JACINTO

Formación Hibácharo (Ngh): Es una de las unidades más representativas del área. Aflora de sur a norte y hacia el oriente del sector de Puerto Velero a manera de franja alargada. Conformada por una serie de intercalaciones de limolitas negras carbonosas, lodolitas grises y amarillas, areniscas de grano fino y costras de oxidación estratiformes. Esporádicos niveles bioclásticos. Capas de yeso y fósiles son abundantes en la unidad.

Formación Las Perdices (PgNgp): Esta unidad aflora al oriente del área de estudio. La litología de esta formación es predominantemente fina conformada por lodolitas grises, fósiles en capas delgadas, intercalaciones de areniscas de grano fino en capas delgadas.

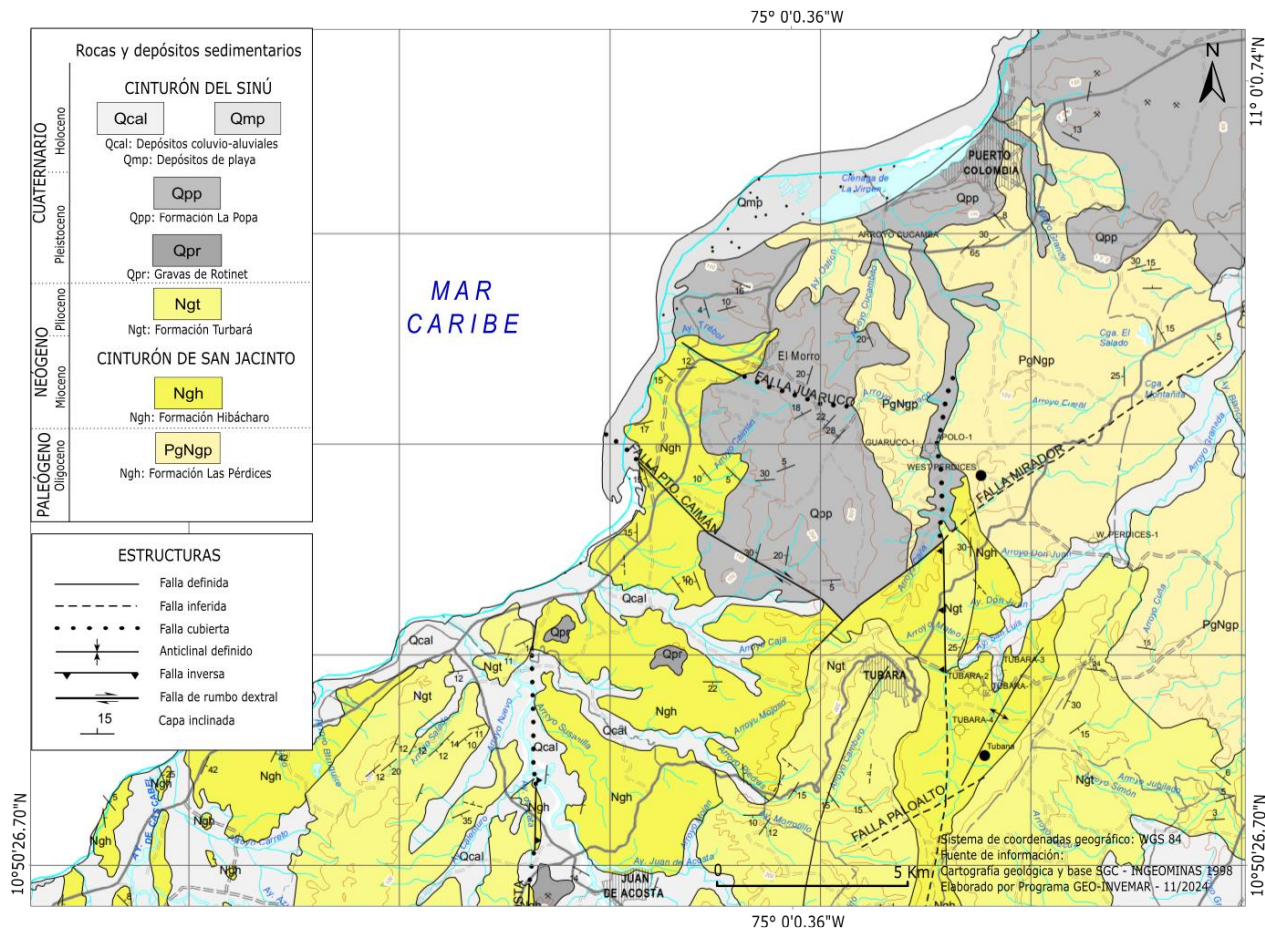


Figura 5-2 Mapa de unidades geológicas que muestra rocas y depósitos sedimentarios presentes en el área de estudio (Modificado de Barrera, R. 2001).

5.1.3 Geomorfología

La morfología y evolución del litoral del sector de Puerto Velero ha sido influenciada por la interacción de factores como la naturaleza de las formaciones rocosas aflorantes en el área, el control estructural, la acción de corrientes marinas, oleaje, entre otros elementos; considerada unas de las áreas más dinámicas del Caribe Colombiano en cuanto a procesos de erosión y sedimentación, dada la influencia del río Magdalena ([Molina, A. et al., 2001](#)).

Las unidades geomorfológicas que conforman el relieve costero en la zona se caracterizan por ser de origen continental, marino y fluvio marino; donde es común la presencia de diapirismo de lodo ([Molina, A. et al., 1999](#)). Se identifican áreas de topografía elevada con morfología ondulada que incluyen lomas, colinas y plataformas de abrasión elevadas. Además, áreas de costas planas que incluyen llanuras y lagunas costeras, la espiga, playas, barras, dunas, zonas de inundación y

valles aluviales (Figura 5-3). A continuación, se describen las principales formas del relieve presentes en la zona.

Espiga litoral: Corresponde a la geoforma más notoria en el área de Puerto Velero (Figura 5-3). Se extiende paralela a la costa con una longitud de 11 km y una amplitud máxima de 1,5 km. La línea de costa asociada a la espiga ha experimentado transformaciones significativas en los últimos años evolucionando recientemente hacia el suroeste (Anaya, 2022). Su formación está ligada a la pérdida de sedimentos en el transecto de costa sobre la Ciénaga de Balboa ubicada unos 5 km al norte de Puerto Velero. De acuerdo con García (2021) en el estudio acerca de la evolución morfodinámica entre el sector costero que comprende entre Santa Verónica y Salgar, se identificó para la espiga de Puerto Velero un proceso de acreción gradual entre los años 2001 al 2010 permitiendo que su geoforma fuera cada vez más elongada. Sin embargo, entre los años 2011 – 2020 domina la acreción afectando la espiga tanto en su frente expuesto (Mar Caribe) como interno (Playa de Puerto Velero).

Barra de arena: Son geoformas alargadas y estrechas que se forman por la acción de corrientes, olas o mareas, las cuales transportan y depositan sedimentos en zonas donde la energía del agua disminuye, favoreciendo su acumulación. En el área de estudio, se identifican en el sector suroccidental, cerca de Puerto Caimán, alineadas de manera paralela a la línea de costa y actuando como una barrera natural que separa una laguna costera del mar Caribe (Figura 5-3).

Lomas y colinas: Estas geoformas conforman el sector nororiental del área de estudio. Corresponden a expresiones topográficas de relieves ondulados que se extienden de forma elongada conformando acantilados. Las lomas alcanzan alturas entre 10 y 40 metros sobre el nivel del mar y las colinas entre los 40 y los 125 msnm. Se distinguen en el sector oriental y hacia el sur, formando salientes fuertemente erosionadas por el mar (Figura 5-3).

Playas: Las playas desarrolladas en el sector de Puerto Velero, se encuentran asociadas a los procesos de formación y desarrollo de la espiga (Franco y Díaz, 2009). El aporte de sedimentos de las mismas proviene principalmente del río Magdalena el cual transporta una carga media de sedimentos estimada en 144×10^6 toneladas por año. Estas geoformas son de topografía baja entre las cuales sobresalen las playas propias del sector de Puerto Velero, Puerto Caimán y Caño dulce al nororiente del área de estudio (Figura 5-3).

Laguna costera: Se identifican en el sector de Puerto Velero al norte de la espiga litoral que atrapa aguas costeras y da paso a la formación de lagunas. También se identifica hacia el sur en el sector de Puerto Caimán una laguna costera que cubre un área de aproximadamente 0,5 km² cuya formación está asociada a la desembocadura de varios arroyos en este sector de la costa (Figura 5-3). Según la época del año las lagunas se encuentran secas o totalmente inundadas.

Pantano de manglar: Los pantanos de manglar se desarrollan en el sector norte de la espiga litoral, en el sector de Puerto Velero y hacia el sur del área de estudio; este último relacionado a la presencia de la laguna costera desarrollada en el sector de Puerto Caimán. Estas áreas se forman por la interacción entre los canales de agua dulce, provenientes de ríos o escorrentías, y el agua salada del mar, creando condiciones de salinidad variables que favorecen el establecimiento de ecosistemas de manglar.

Salitrales: Se desarrollan en cercanías de las playas de Puerto Velero y al sector nororiental de la espiga litoral (Figura 5-3). Estas áreas, caracterizadas por morfologías planas, son susceptibles a la inundación por mareas y se forman debido a la evaporación del agua de mar, que contiene altas concentraciones de sales y atrapadas en la superficie.

Valle aluvial y zonas de inundación: Estas geoformas se identifican hacia el sur del área. Corresponden a zonas de baja pendiente que se forman debido a las corrientes, como el Arroyo Caimán, que descienden desde las lomas y colinas generando zonas de inundación (Figura 5-3).

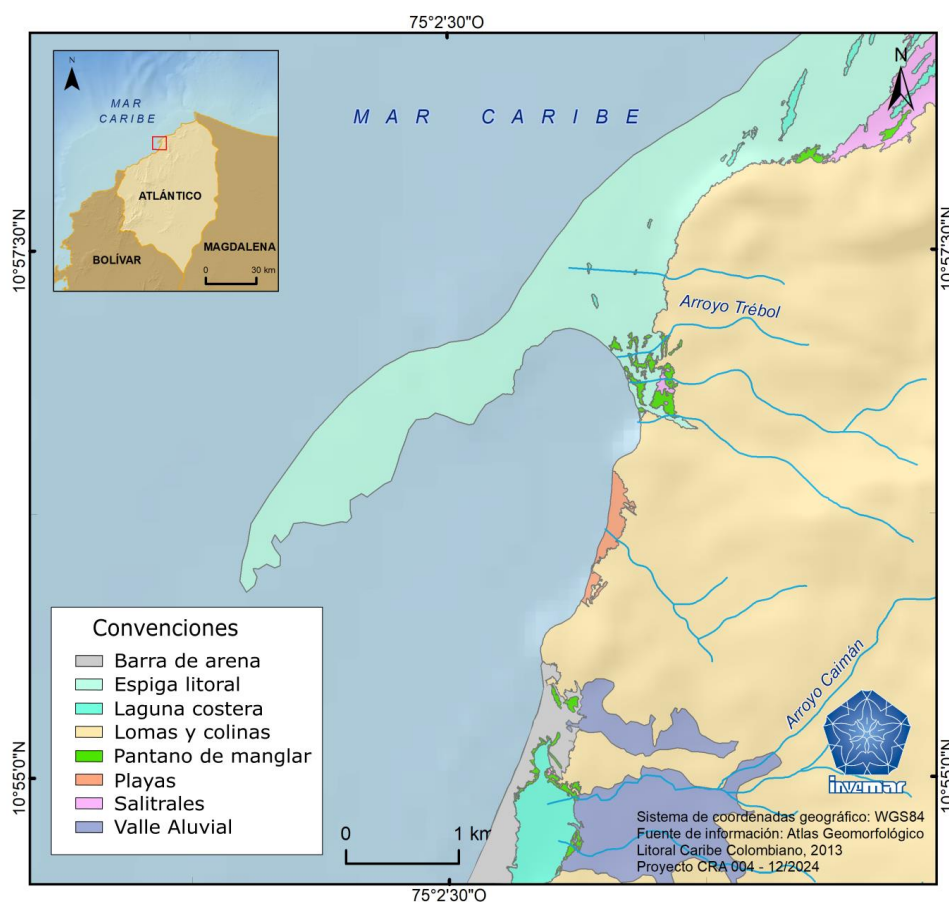


Figura 5-3. Mapa de unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio (Modificado de [Afanador Franco et al., 2013](#)).

5.2 METODOLOGÍA

5.2.1 Determinación de la ubicación y extensión de corales

5.2.1.1 Levantamiento de información geofísica

Para establecer la ubicación y extensión de áreas coralinas en el sector de Puerto Velero, se llevó a cabo la adquisición de información de sonar de barrido lateral sobre un área aproximada de 6 km²; entre el 2 y el 7 de septiembre de 2024 (Figura 5-4). Para este propósito se implementó el sistema de adquisición acústico SES2000 – *Sidescan Extension* (INNOMAR) el cual opera con una frecuencia de 100 KHz. Para el sistema de posicionamiento espacial de datos, se utilizó un sistema global de navegación GNSS (Global Navigation Satellite System) tipo GEOMAX con antena externa (Figura 5-4). La estimación de la velocidad promedio del sonido en la columna de agua se determinó con el sensor Digibar PRO de Teledyne.



Figura 5-4. Adquisición de información de Sonar de Barrido Lateral en el sector de Puerto Velero (Izq.). Sistema global de navegación GNSS (Global Navigation Satellite System) con antena externa (Der. sup). Imagen en tiempo real del fondo marino en escala de grises (Der. inf). (Fuente: Programa de Geociencias marinas y costeras)

El sistema acústico emite ondas de sonido que se propagan en dos direcciones a lo largo de la columna de agua, formando un haz perpendicular a la dirección del movimiento. Estas ondas interactúan con el fondo marino y son reflejadas, fenómeno conocido como retrodispersión. El sonar capta estas ondas reflejadas, permitiendo generar imágenes de alta resolución que muestran la estructura y características físicas del fondo (relieve, textura, densidad, tamaño de grano, entre otras) (Johnson y Helferty, 1990). Por ejemplo, Los fondos duros, como rocas o corales, generan una mayor retrodispersión debido a su alta reflectividad, produciendo ecos más intensos y definidos en las imágenes. Por otro lado, los fondos blandos, como sedimentos o arena, tienen una respuesta de retrodispersión más baja, lo que genera ecos más débiles y menos contrastados. Las propiedades del fondo, como la rugosidad, dureza y sombras acústicas generadas por los fondos marinos son procesadas por el sonar para traducir la cantidad de energía retrodispersada en una imagen digital. Esta imagen se representa en una escala de grises, lo que permite visualizar diferentes detalles del fondo marino (Figura 5-4).

Durante la adquisición se configuró el sonar con los parámetros adecuados (frecuencia, rango, ganancia, entre otros) asegurando que los retornos de la señal fueran coherentes y que las señales de alta y baja reflectividad se distinguieran claramente. Además, se llevó a cabo la calibración inicial del equipo para asegurar la precisión y calidad de los datos. Lo anterior a una velocidad de la embarcación constante y adecuada aproximadamente 4 nudos. Finalmente, la adquisición se llevó a cabo siguiendo un arreglo de 71 perfiles paralelos con azimut 320° y espaciamiento que vario entre 30 y 50 metros, para un total de 123 km lineales (Figura 5-5).

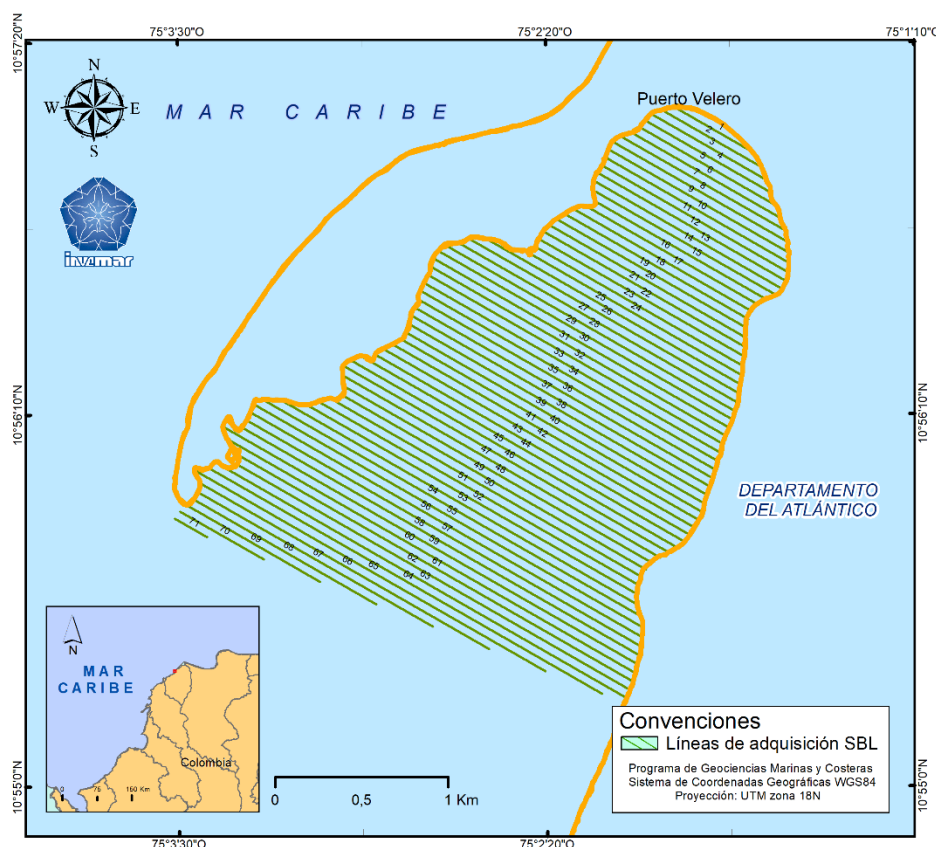


Figura 5-5. Líneas de adquisición de sonar de barrido lateral en el área de Puerto Velero.

5.2.1.2 Caracterización de zonas coralinas

Partiendo de la información recopilada anteriormente en la zona ([INVEMAR-CRA, 2023](#)) y tomando como insumo los polígonos de interés construidos a partir del sonar de barrido, se realizó la verificación en campo de cada uno mediante el método de estimación visual denominado evaluación ecológica rápida, planteado con base a lo realizado en [Díaz et al. \(1995\)](#). El trabajo se desarrolló a partir de observaciones visuales por parte de mínimo dos buzos, en un radio de observación visual de máximo 3 m, anotando el porcentaje de cobertura de cada grupo biótico /abiótico y sacando un promedio entre las observaciones para cada uno de los puntos visitados.

Se visitó cada polígono en lancha, utilizando un GPS como navegador que indicaba la presencia de cada punto de interés a menos de 5 m de distancia, lanzando una pesa atada a una boya mediante una cuerda, y georreferenciando cada punto (Figura 5-6). A continuación, se anotó el número del punto y la profundidad. En cada punto visitado se utilizó una tabla guía para anotar el porcentaje de cobertura de los diferentes grupos allí presentes, así como del tipo de sustrato.

Para acompañar dicha lectura en cada punto, se procedió a tomar fotografías capturando información general del paisaje.

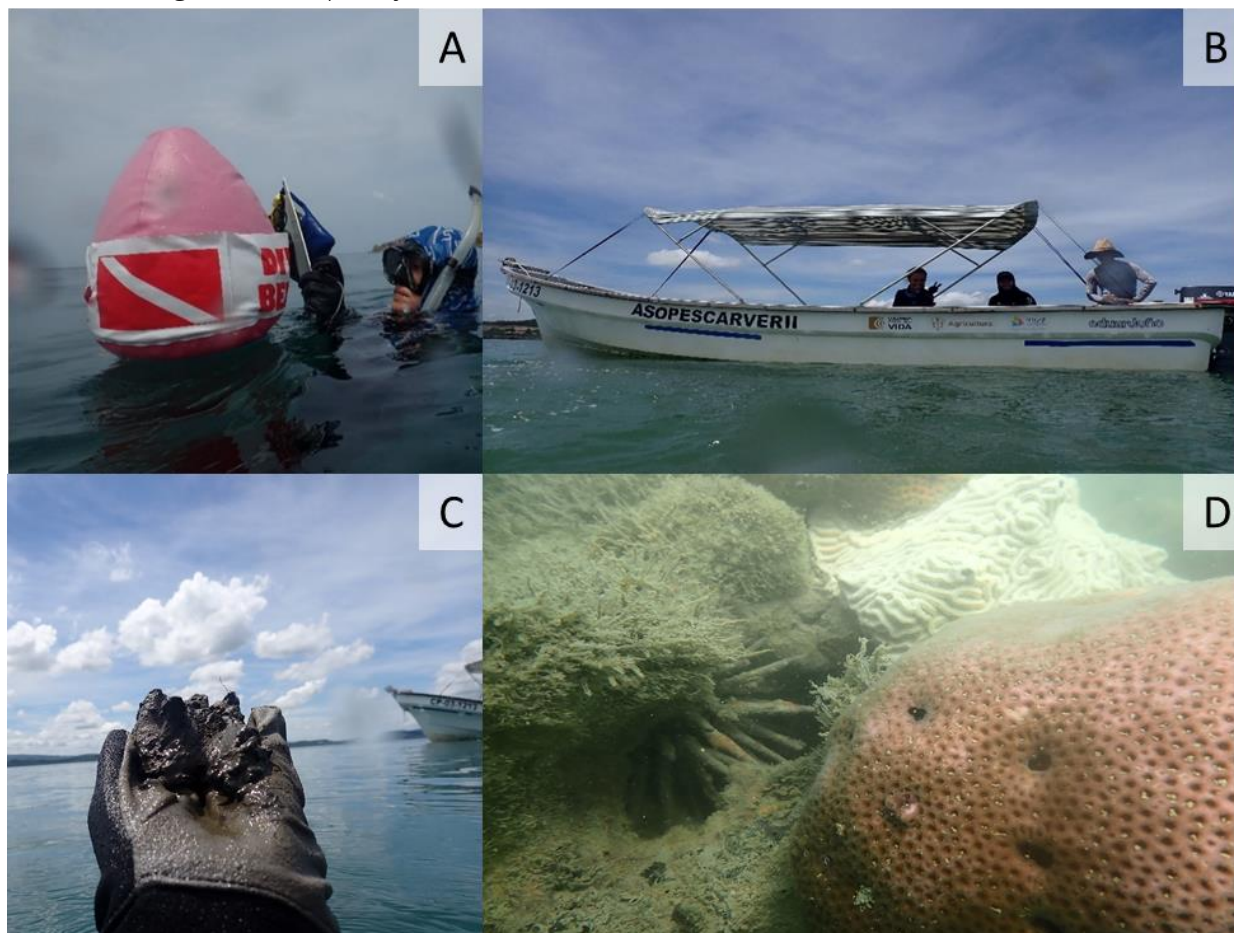


Figura 5-6. Verificación de zonas de interés a través de evaluaciones ecológicas rápidas.

Con la información anterior, se determinaron los puntos con presencia coralina más conspicua, así como los bordes que delimitan este ambiente para dar una estimación de su extensión. Una vez identificados estos, se realizaron 4 transectos de 25 m con la metodología de punto intercepto donde la visibilidad lo permitiera ([Garzón-Ferreira y Rodríguez-Ramírez, 2010](#)). En estos transectos, se delimitó la cobertura de fondos describiendo cada uno de los componentes allí encontrados al nivel taxonómico más bajo posible cada 10 cm. En el caso de los corales, estos fueron llevados a nivel de especie, describiendo además su estado de salud, y en caso de estar presente, la presencia de enfermedades y/o blanqueamiento asociado.

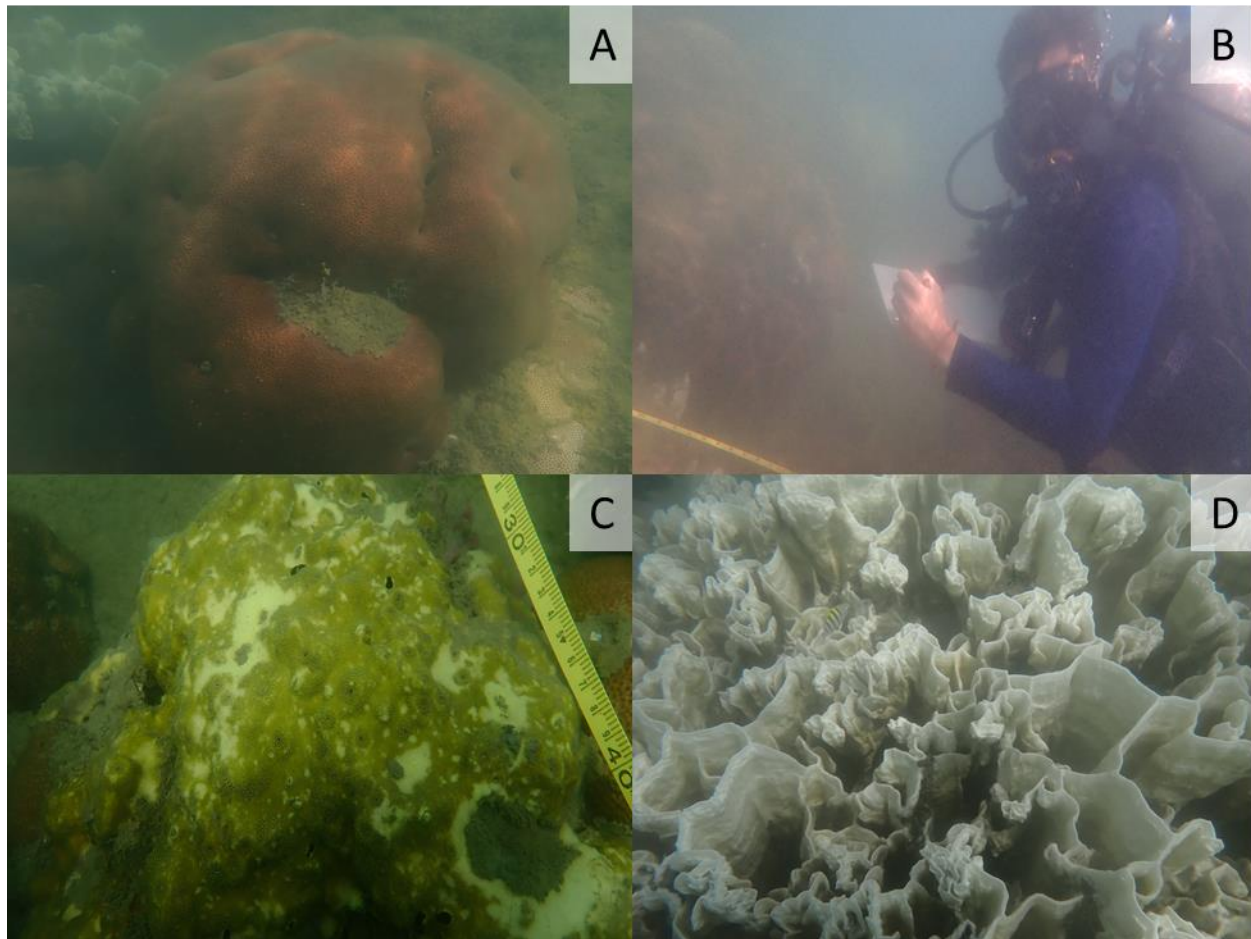


Figura 5-7. Caracterización de áreas coralinas en el sector de Puerto Velero, siendo A) Colonia de *S. siderea* en la zona de evaluación. B) Investigador realizando la lectura del transecto. C y D) Colonias palidecidas y/o blanqueadas en la zona de evaluación.

Los resultados fueron compilados para determinar la cobertura asociada a todos los grupos del sustrato allí presente, así mismo, se realizó un inventario de los organismos asociados que se pudieron identificar a lo largo de todo el sector. Para el caso de los corales, se determinó su estado actual en términos de presencia de blanqueamiento y/o enfermedades, y su porcentaje de incidencia, entendido como el número de colonias con afectación sobre el total de colonias contadas.

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Procesamiento de los datos de sonar de barrido lateral

Para el procesamiento de los registros SES se utilizó el software ISE 2.9 ([INNOMAR, 2009](#)) en el cual se corrigieron los datos de profundidad de campo, seleccionando el reflector adecuado a la primera señal en el barrido acústico (Figura 5-8). Estos datos fueron reemplazados en el registro original, guardando la información en la sexta columna de los datos SIS relacionados con la navegación en este tipo de archivos. Posteriormente se exportaron las columnas de posición y profundidad para generar archivos de tipo xyz con coordenadas UTM 18 Norte y datum WGS 84.

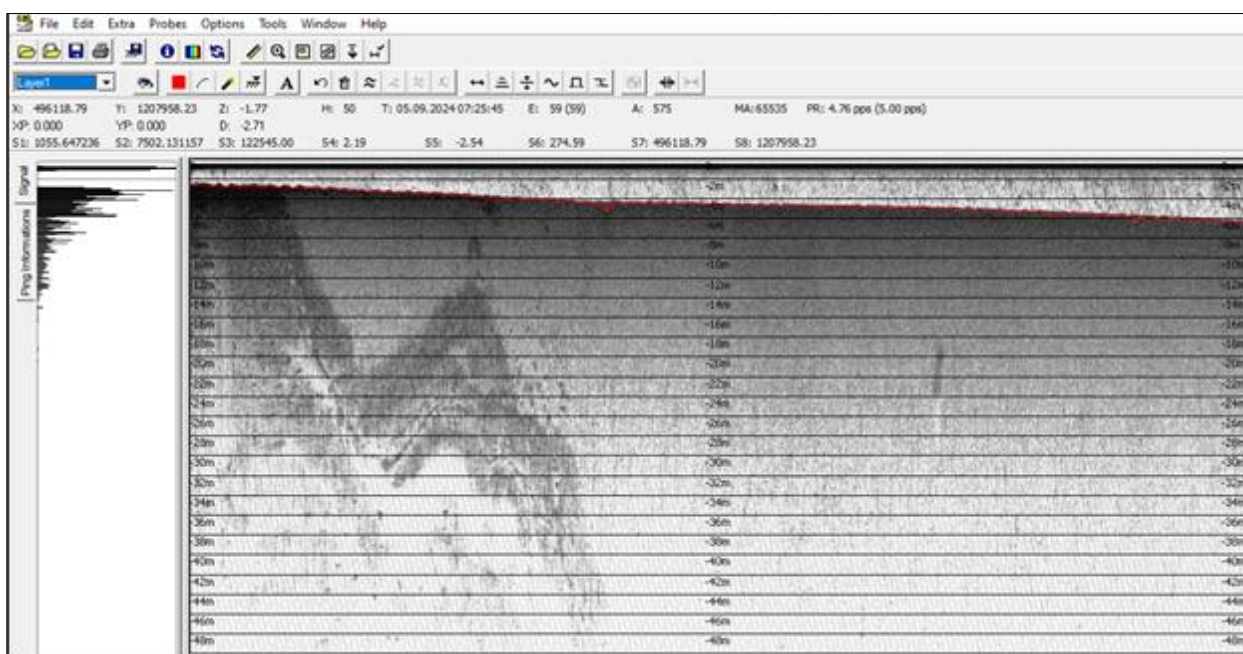


Figura 5-8. Interfaz del software de procesamiento ISE 2.9 ([INNOMAR, 2009](#)).

Los archivos xyz se cargaron en el software Global Mapper, con el cual se realizó un modelo de elevación digital para cada una de las áreas utilizando el método *Triangulated Elevation Grid* con una grilla espaciada cada 15 m. La generación de los mosaicos se realizó con el software *Side Scan Processor V1.2* ([INNOMAR, 2009](#)), estableciendo los parámetros de entrada de coordenadas en UTM 18 Norte (SIS 7 y 8), datos de rumbo originados por el GPS (SIS 5), y datos de profundidad corregidos en los datos de navegación (SIS 6). Finalmente, los archivos de salida fueron guardados en formato .tif, asociados a un archivo de georeferencia de ESRI (tfw).

Durante el procesamiento de este tipo de datos, es común la ocurrencia de errores que generan variaciones en la ubicación, forma, tono y tamaño de los distintos sustratos marinos. Entre las distorsiones más frecuentes se encuentran aquellas causadas por el movimiento de la superficie del agua donde se desplaza el dispositivo; las fluctuaciones en la ganancia debido a cambios en la profundidad del fondo marino; y las distorsiones provocadas por la columna de agua, ya que los diferentes elementos presentes en esta zona pueden alterar la velocidad de propagación del

sonido. Para mitigar estos errores y mejorar la resolución de las imágenes, se aplicaron filtros como el de ganancia y el *Time Varied Gain (TVG)* (Figura 5-9). El filtro de ganancia ajustó la intensidad de la señal acústica, equilibrando los contrastes para resaltar las diferencias entre los sustratos. El TVG compensó la pérdida de intensidad de la señal a medida que esta viajaba mayores distancias, corrigiendo las atenuaciones causadas por la propagación del sonido a través del agua.

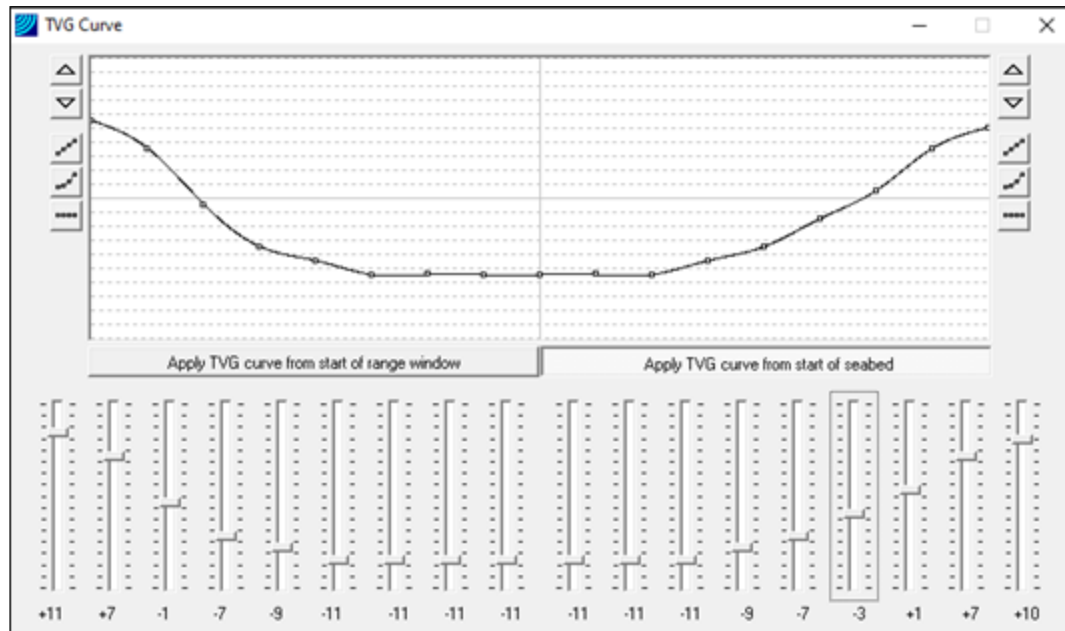


Figura 5-9. Interfaz del software *Side Scan Processor V1.2* (INNOMAR, 2009) en donde se lleva a cabo la aplicación de filtros de ganancia y TVG.

Estas correcciones permitieron obtener imágenes más uniformes y detalladas, lo que facilitó la interpretación del fondo marino y aseguró la generación de un mosaico preciso y de alta calidad que representó fielmente las características del área de estudio.

5.3.1 Morfología del fondo

Puerto Velero se caracteriza por ser un área semi cerrada que se comunica con el mar Caribe al suroccidente. El fondo marino de esta zona presenta una morfología irregular con una variabilidad significativa en las profundidades. El modelo batimétrico muestra profundidades que oscilan entre los -1,084 metros en las áreas someras, ubicadas en la parte norte y cercana a la costa, y los -11,133 metros en las zonas más profundas, situadas en el centro y sur del área. Se observa una pendiente pronunciada hacia el sur, lo que sugiere un fondo marino inclinado, con una transición gradual de zonas someras a áreas de mayor profundidad. Esta variabilidad en la profundidad indica una topografía subacuática compleja, influenciada probablemente por la formación de la espiga litoral al nororiente, que genera una zona dinámica en ese sector,

donde se localizan las máximas profundidades. La formación de esta barra podría estar contribuyendo a la distribución de las profundidades y a la dinámica de los sedimentos en la zona, haciendo que las áreas cercanas a la barra presenten un cambio pronunciado en la profundidad hacia las zonas más profundas del área de estudio (Figura 5-10).

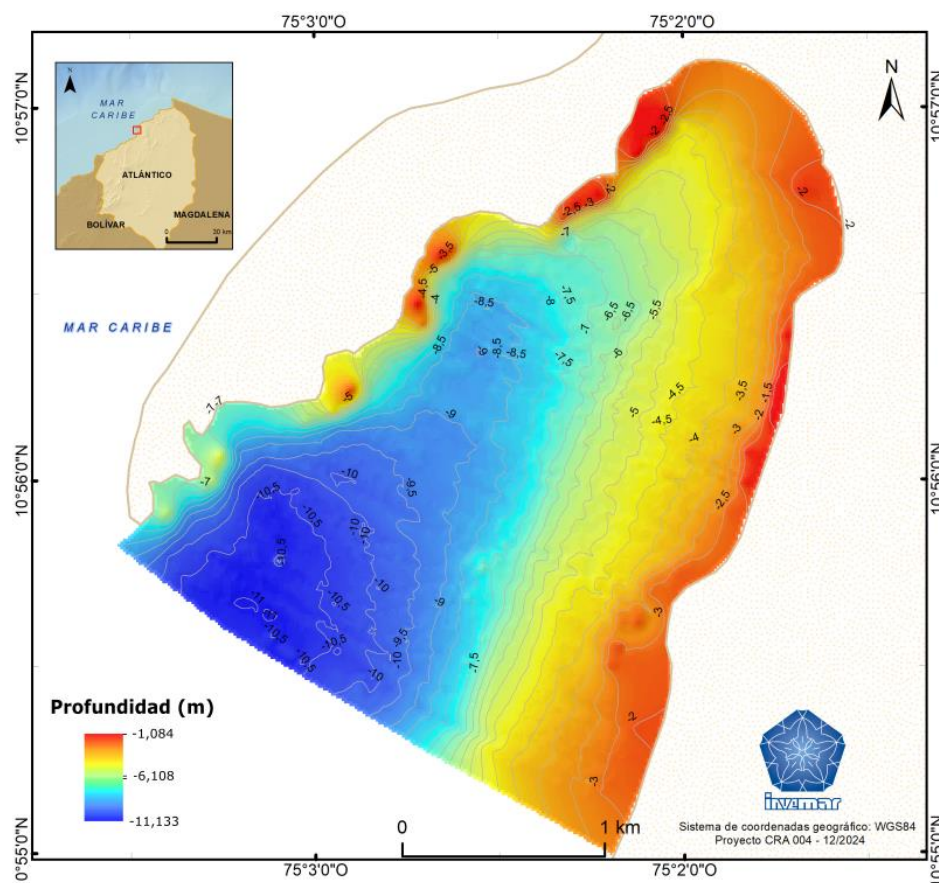


Figura 5-10. Modelo batimétrico de Puerto Velero que muestra un rango de profundidades de -1,084 m y -11,133 m.

5.3.2 Determinación de la ubicación y extensión de corales

La determinación de la ubicación y extensión de anomalías asociadas a la presencia de corales en el sector de Puerto Velero se ha llevado a cabo mediante la interpretación del mosaico de sonar de barrido lateral adquirido en la zona (Figura 5-11). A partir de esta información, se identificaron 3 polígonos con características distintivas del fondo marino, como la reflectividad acústica del fondo y patrones texturales que incluyen la forma, el tamaño y la distribución de las estructuras identificadas. Estos patrones reflejan anomalías en el fondo, que podrían estar

asociadas a variaciones en la composición, disposición de sustratos y/o posibles estructuras biogénicas o geológicas presentes en el fondo marino de la zona estudiada.

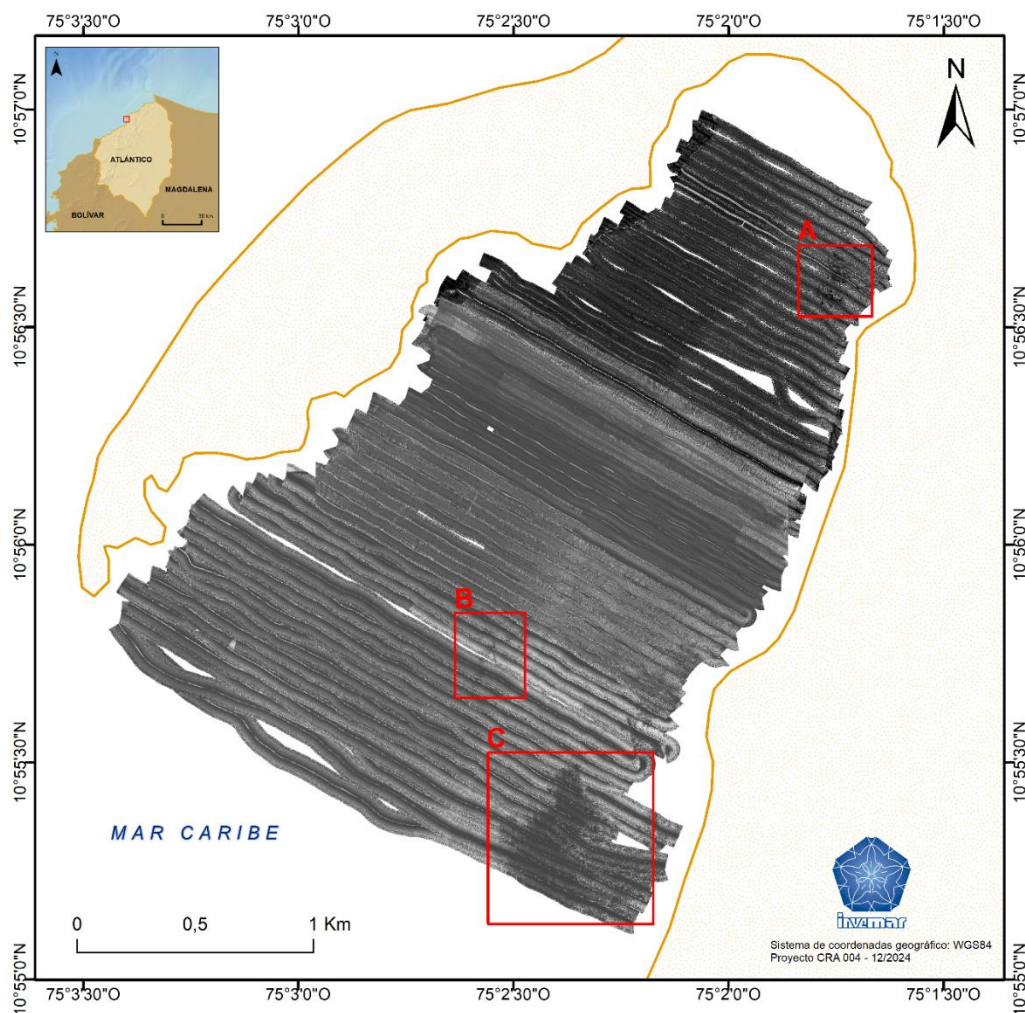


Figura 5-11. Mosaico de Sonar de Barrido Lateral del área de Puerto Velero. Polígonos rojos indican áreas de anomalías en patrones de reflectividad.

- Anomalías de sonar de barrido lateral Polígono A

La imagen de sonar de barrido lateral en el Polígono A muestra un contraste notable en la reflectividad, textura y distribución del fondo marino, abarcando profundidades entre -2 m y 3 m en un área de 85 m². En el sector derecho, las áreas oscuras en la imagen indican zonas de mediana a alta reflectividad, asociadas probablemente a sedimentos gruesos depositados recientemente por eventos de alta energía del arroyo El Trebal y otros drenajes secundarios. En

contraste, el sector izquierdo presenta una reflectividad más baja, probablemente vinculada a sedimentos finos o una menor densidad. La transición entre ambas zonas parece estar influenciada por el aporte de sedimentos arrastrados por el arroyo El Trebal, que descarga en este sector, evidenciando una dinámica sedimentaria activa. La región de alta reflectividad muestra una textura granulada y definida, que sugiere un sustrato rugoso o heterogéneo, mientras que las áreas de baja reflectividad presentan una textura más homogénea y suave, asociada a la deposición de sedimentos finos. Estos patrones reflejan la influencia del arroyo en la distribución y composición del fondo marino, moldeando las texturas y características observadas en la imagen.

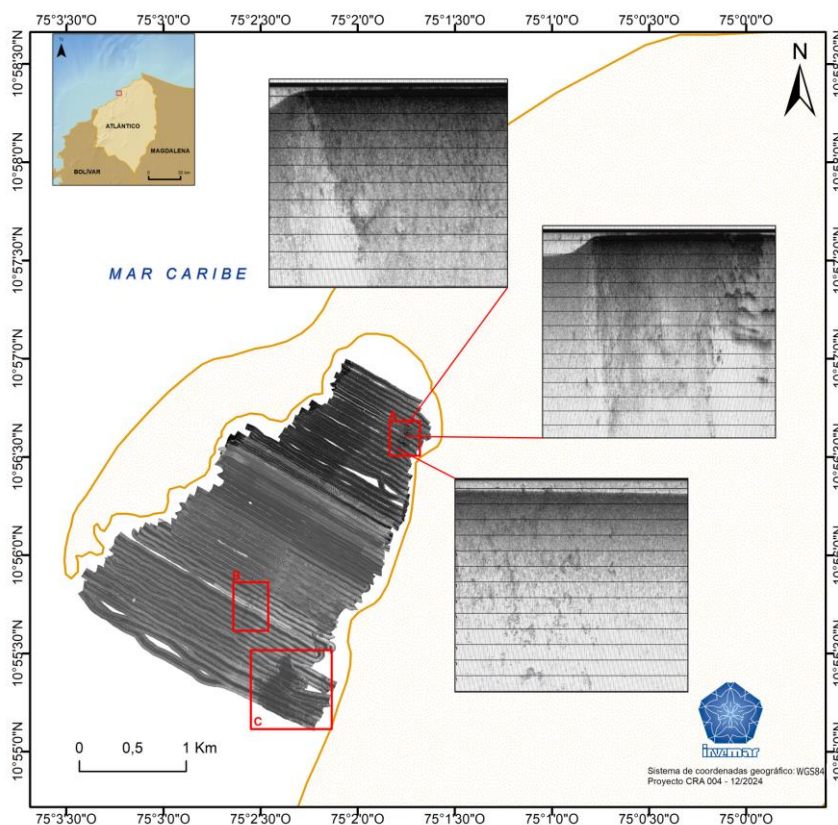


Figura 5-12. Detalle de anomalías del polígono A, identificadas en el mosaico de Sonar de Barrido Lateral del área de Puerto Velero.

- **Anomalías de sonar de barrido lateral Polígono B**

La imagen de sonar de barrido lateral en el Polígono B muestra una característica lineal prominente en el centro, que destaca por su alta reflectividad en comparación con las áreas adyacentes. Se identifica entre los -8 m profundidad y cubre un área de 90 m². Esta estructura presenta una morfología alargada, con una textura de apariencia heterogénea y

patrones irregulares que sugieren rugosidad o una variación en el tamaño de los materiales depositados. En contraste, las áreas laterales presentan una textura más homogénea y de baja reflectividad, lo que podría estar relacionado con la acumulación de sedimentos finos o materiales menos compactos.

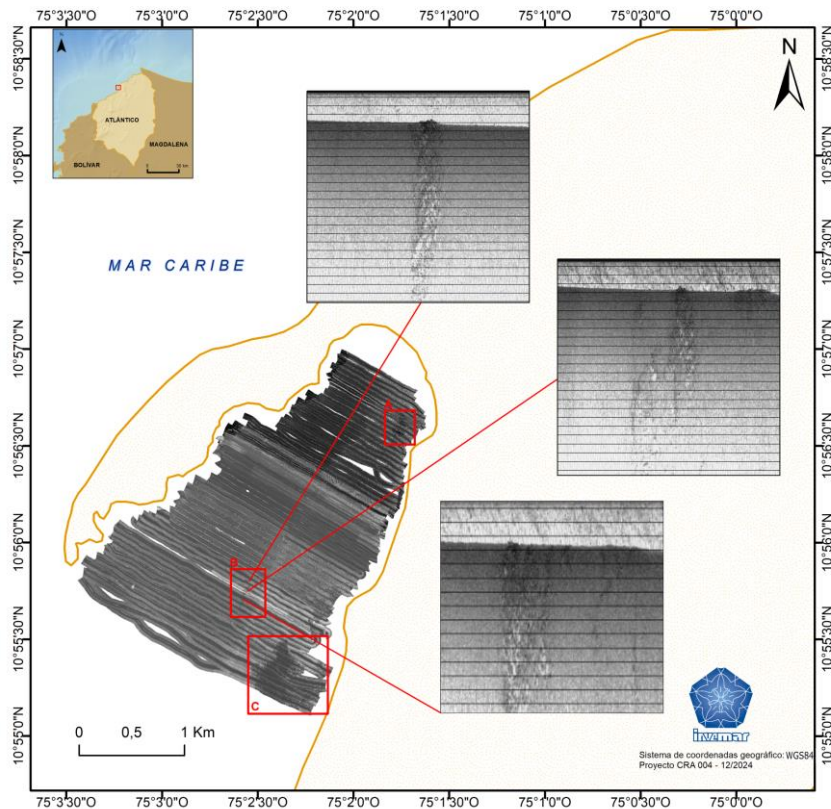


Figura 5-13. Detalle de anomalías del polígono B, identificadas en el mosaico de Sonar de Barrido Lateral del área de Puerto Velero.

- **Anomalías de sonar de barrido lateral Polígono C**

La imagen de sonar de barrido lateral en el Polígono C refleja anomalías entre los -1,5 m y 7 m de profundidad que cubren un área de 450m². Aquí, se observa un contraste en la reflectividad a lo largo de la imagen, con áreas de alta reflectividad que podrían estar asociadas a estructuras densas y compactas. Estas áreas de alta reflectividad reflejan las ondas acústicas de manera más intensa, lo que sugiere la presencia de superficies rugosas y complejas, como los corales y sus estructuras asociadas, cuya composición sólida de carbonato de calcio genera esta característica. Este patrón de reflectividad no es uniforme, sino que presenta una distribución dispersa a manera de parches y zonas irregulares, lo que sugiere la presencia de colonias de corales distribuidas en el fondo. La textura observada en la imagen es irregular y presenta zonas

con patrones más definidos, lo cual es característico de las estructuras coralinas, que tienden a tener superficies ásperas y no homogéneas en comparación con los sedimentos circundantes. Alrededor de los corales, se identifican áreas de baja reflectividad asociadas con sedimentos finos que se depositan en las zonas de baja energía entre las estructuras coralinas.

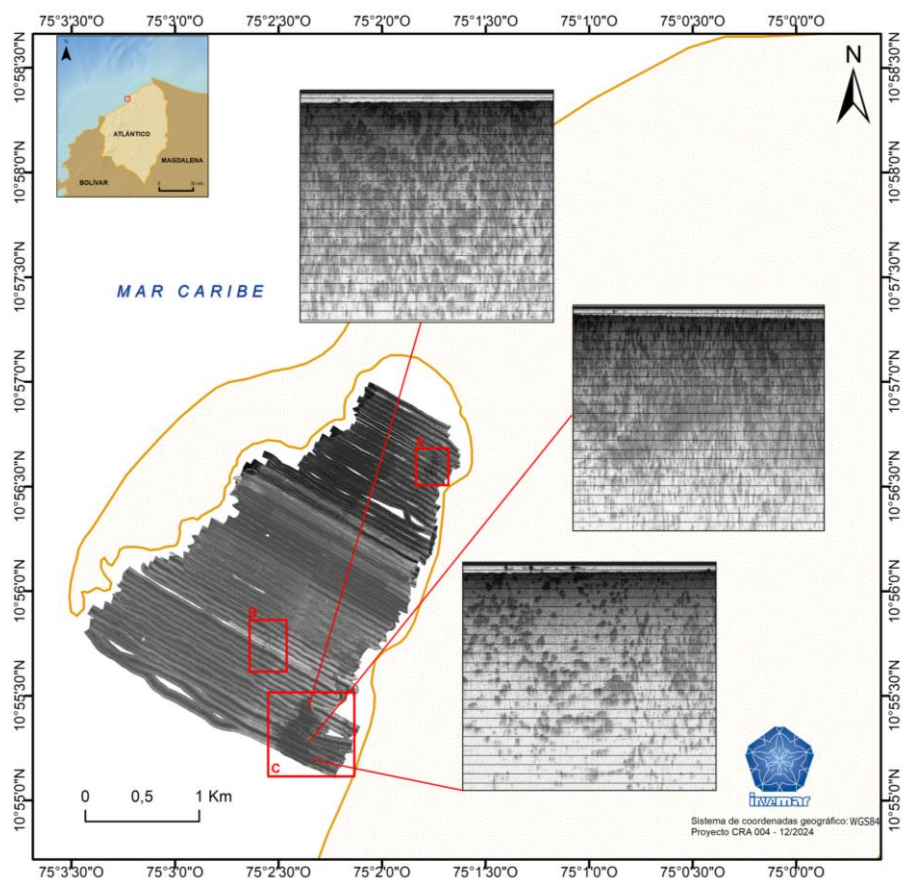


Figura 5-14. Detalle de anomalías del polígono C, identificadas en el mosaico de Sonar de Barrido Lateral del área de Puerto Velero.

A continuación, se presenta una tabla que muestra las coordenadas geográficas de las anomalías identificadas a través del sonar (Tabla 5.2). Estas coordenadas corresponden a puntos específicos donde se han detectado variaciones significativas en el fondo marino, lo que sugiere la presencia de estructuras o formaciones de interés. Los corales se identificaron en el **Polígono C**, destacando por áreas de alta reflectividad y texturas rugosas, características de colonias coralinas, rodeadas de sedimentos finos en zonas de baja energía.

Tabla 5.2. Polígonos seleccionados para validación in-situ de las anomalías identificadas en el sonar de barrido lateral

POLÍGONO 1			
NW	NE	SW	SE
Lat. 10.944626°	Lat. 10.943608°	Lat. 10.930422°	Lat. 10.930802°
Long -75.029028°	Long -75.027929°	Long -75.043088°	Long -75.041488°
POLÍGONO 2			
NW	NE	SW	SE
Lat 10.935562°	Lat. 10.934256°	Lat. 10.930743°	Lat. 10.929112°
Long -75.039730°	Long -75.037336°	Long -75.042668°	Long -75.039892°
POLÍGONO 3			
NW	NE	SW	SE
Lat. 10.928292°	Lat. 10.926557°	Lat. 10.944626°	Lat. 10.917258°
Long -75.035906°	Long -75.034357°	Long -75.041318°	Long -75.036868°

A partir de la información en campo, se logró identificar presencia de áreas coralinas únicamente en uno de los polígonos de interés construido a partir del sonar de barrido lateral, siendo este el ubicado en el sector sur oriental de la bahía de Puerto Velero. Este mismo corresponde al área de sustrato duro previamente detectada a través del convenio 008-2023, la cual a través de estimaciones de imágenes de satélite tiene un área de aproximadamente 2,2 ha (Figura 5-15).

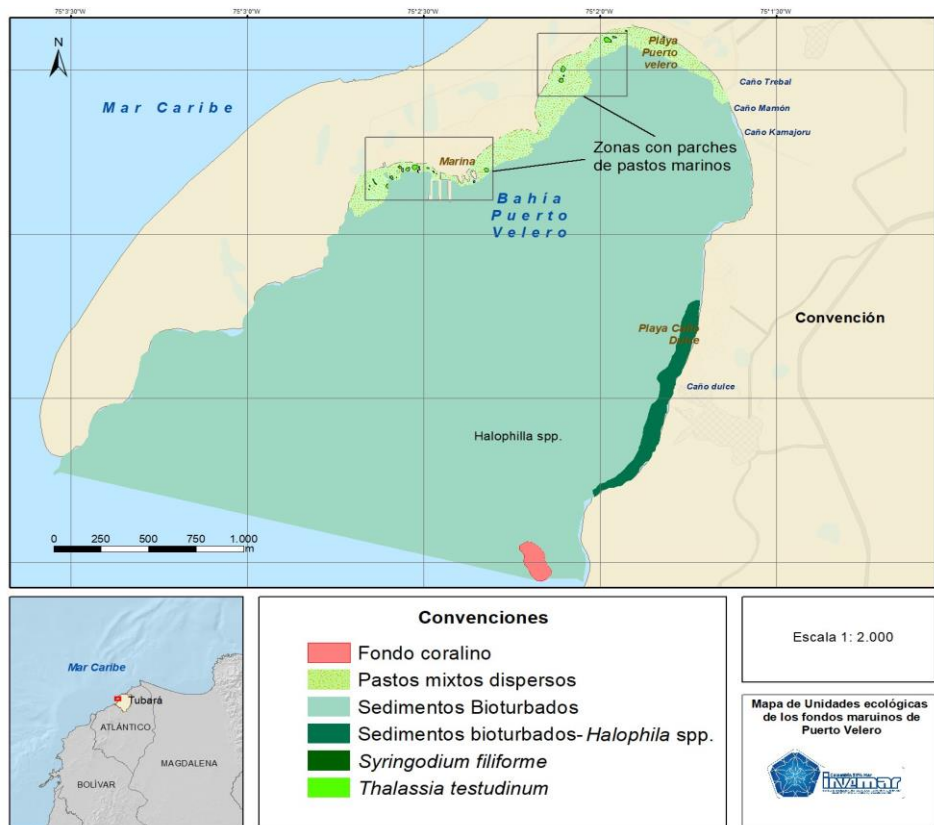


Figura 5-15. Mapeo de ecosistemas marinos detectados en la zona de Puerto Velero donde se destaca el área coralina.

En este sentido, las evaluaciones ecológicas rápidas a través de la verificación de puntos y determinación de bordes de transición, indican que cerca de un 43 % de dicha área corresponden a zonas coralinas consolidadas (aprox 0,93 ha), mientras que el área restante corresponde a zonas con rocas cubiertas con algas y esponjas (aprox 1,08 ha - Figura 5-16A), y a jardines de gorgonáceos de la especie *Antillogorgia* sp. (aprox 0,10 ha - Figura 5-16B).

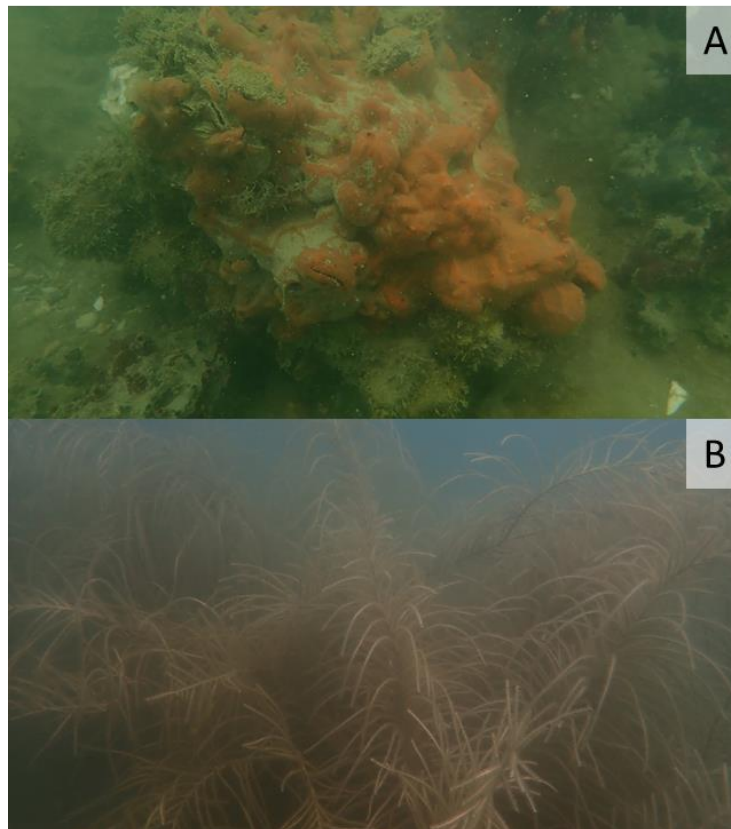
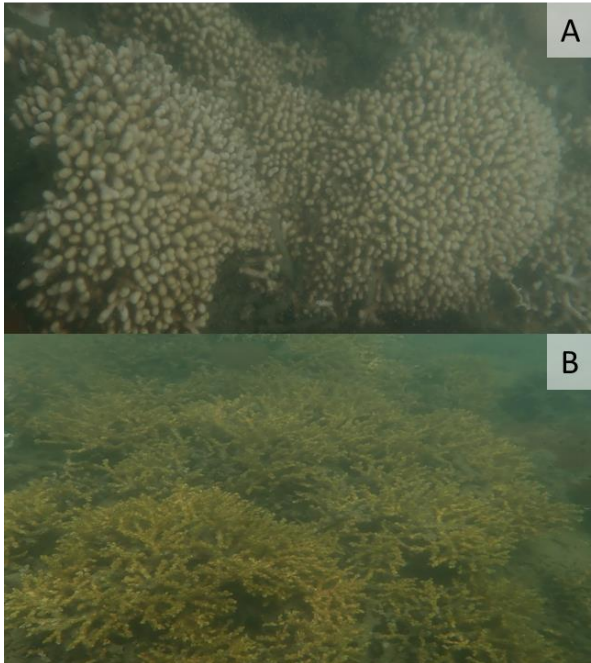
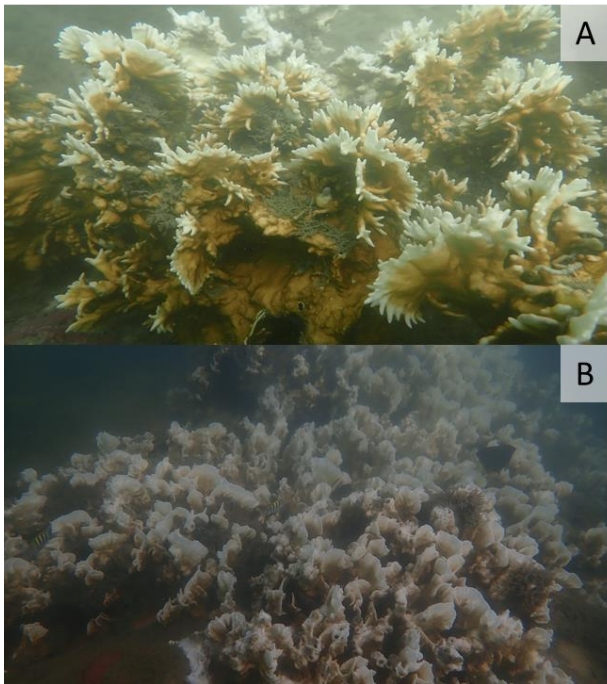
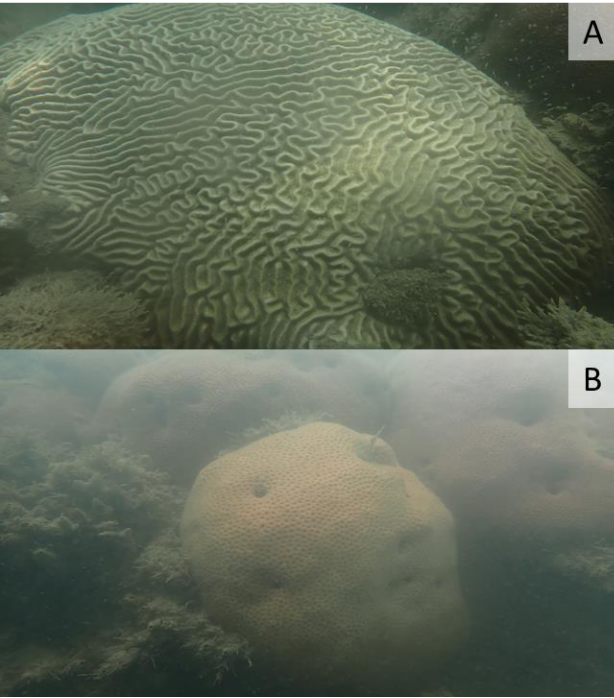


Figura 5-16. A) Zona de rocas cubiertas por esponjas y algas en tapete, B) Jardín de gorgonáceos del género *Antillogorgia* sp.

En este sentido, dentro del área coralina consolidada, se identificaron diferentes ambientes o unidades ecológicas, las cuáles se describen a continuación:

 Figura 5-17. A) Coral dedo (<i>Porites porites</i>). B) Coral árbol de marfil (<i>Oculina diffusa</i>).	Zona de corales ramificados (<i>Porites-Oculina</i>) Ubicación: zona nororiental del área coralina. Profundidad: 0 – 1.5 m. Esta zona presenta mayor presencia de especies de crecimiento ramificado que forman jardines de amplia cobertura, los cuáles se encuentran rodeados de fondos arenosos y fangosos, así como de macroalgas, principalmente cespitosas. Dentro de las especies más destacadas están <i>Porites porites</i> (Figura 5-17A) y <i>Oculina diffusa</i> (Figura 5-17B), siendo esta última especialmente particular, al tratarse de una especie muy poco común en las zonas arrecifales del Caribe colombiano, reportadas únicamente en zonas como San Bernardo y Bahía Portete.
 Figura 5-18. Corales de fuego de las especies A) <i>Millepora alcicornis</i> y B) <i>Millepora complanata</i>.	Zona de corales de fuego (<i>Millepora</i> sp) Ubicación: zona central a lo largo de toda el área coralina. Profundidad: 0 – 1 m. Esta zona es la cresta del área coralina, teniendo una amplia presencia de coral de fuego de las especies <i>Millepora alcicornis</i> (Figura 5-18A) y <i>Millepora complanata</i> (Figura 5-18B), las cuáles se encuentran a lo largo y ancho del sector, llegando en algunos casos incluso a estar muy cerca de la superficie. La poca profundidad del área que disminuye la presencia de numerosos organismos, sumado al potencial contacto con esta especie urticante, limitaron una evaluación más detallada del sector.

 A B Figura 5-19. A) Especie de coral cerebro (<i>Pseudodiploria strigosa</i>). B) Especie de coral mostaza (<i>Siderastrea siderea</i>).	Zona de corales mixtos y costras de coral sobre rocas Ubicación: borde noroccidental y sur del área coralina. Profundidad: 0 – 2.5 m. Se destaca como la zona más representativa del sector, no solo por tener un tamaño mayor, sino también por presentar una amplia presencia de especies principalmente de crecimiento masivo, destacando a <i>Pseudodiploria strigosa</i> (Figura 5-19A) y <i>Siderastrea siderea</i> (Figura 5-19B) como las más representativas, con tamaños cercanos a un metro de largo. Algunas de las especies forman costras que van creciendo sobre la roca, llegando a alcanzar tamaños cercanos a los 50 cm de largo. En estas formaciones se observan asociados una gran variedad de organismos como invertebrados, peces y macroalgas cespitosas y frondosas.
--	--

5.3.3 Identificación de la condición actual de corales

5.3.3.1 Caracterización de zonas coralinas

A través de la evaluación detallada, se pudo identificar que el componente principal del fondo corresponde a los corales masivos, con una cobertura del 27 %, destacando a *Siderastrea siderea* y *Pseudodiploria strigosa* como las especies más representativas. En segundo lugar, destaca el sedimento con un 21 %, el cual tenía presencia desde fangos hasta arenas finas en las porciones más cercanas al borde del arrecife. Seguido se encontraron los tapetes algales con un 18 % de la cobertura total, los cuáles se observaron sobre las rocas, o en algunos casos sobre el cascajo y el coral muerto. El coral incrustante, por su parte, se registró con un 12%, destacando a *Siderastrea radians* y a *Pseudodiploria clivosa* como las más representativas de este grupo. Por su parte, los millepóridos o corales de fuego presentaron una cobertura del 11%, destacando sólo en porciones específicas del área, o creciendo encima de corales duros y blandos muertos. Finalmente, las esponjas y otros componentes de fondo como Zoantideos, Gorgonáceos y roca suelta tiene una cobertura por debajo del 10%, siendo una parte menos representativa del área coralina (Figura 5-20). En líneas generales, la cobertura y composición del área, especialmente la

relativa a la presencia de corales y macroalgas, se encuentra muy similar a otras áreas representativas del Caribe colombiano, donde los valores para los corales tienden a estar entre el 25 y el 40 %, y el de macroalgas por encima del 15 % para la gran mayoría de casos ([Sánchez-Valencia et al., 2023](#)).

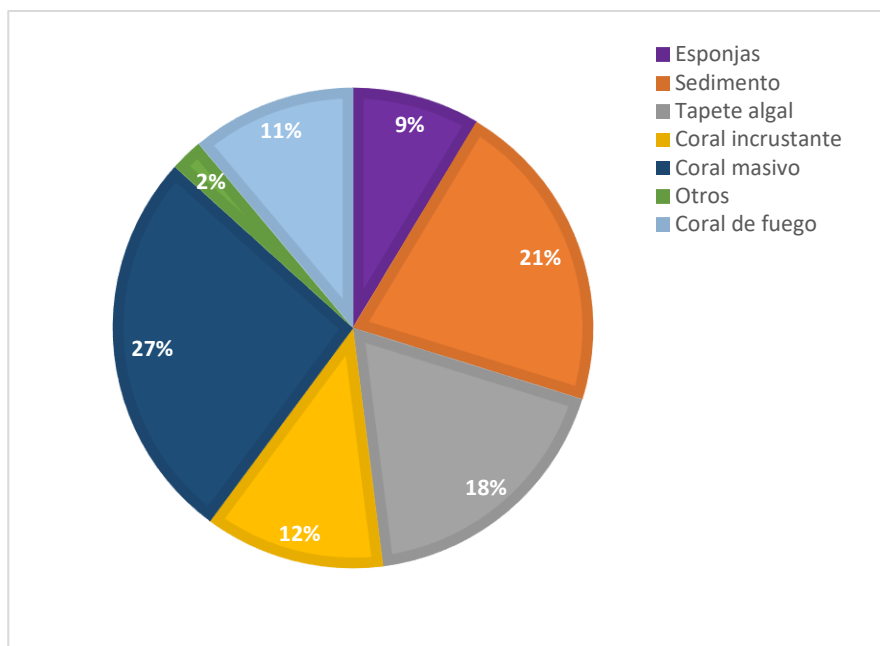


Figura 5-20. Porcentaje de cobertura de los principales grupos del sustrato en la zona coralina de Puerto Velero

Por otro lado, la presencia de blanqueamiento coralino fue notoria para la mayoría de los grupos presentes, teniendo una incidencia en colonias con todo tipo de crecimiento (Figura 5-21), sin embargo, el porcentaje de incidencia estimado fue de menos del 5 % de estas, lo que puede indicar que las especies presentes en el área presentan resistencia a este tipo de perturbaciones o la forma geomorfológica del sector, le da algún tipo de ventaja a los corales por eso su ubicación específica en el área.

Si bien lo anterior es un reflejo de lo que se pudo evidenciar al momento de la evaluación, el monitoreo continuo de este sector es primordial, teniendo en cuenta que la prolongación de las altas temperaturas registradas en el área y en general para todo el gran Caribe ($> 30^{\circ} \text{C}$), sumada a la poca profundidad ($< 2 \text{ m}$) y a la alta sedimentación propia de esta zona, pueden tener implicaciones en el futuro, facilitando la aparición de enfermedades coralinas no registradas a día de hoy, y en los peores escenarios, blanqueamientos con una incidencia mayor y mortandades masivas asociadas a algunas de estas especies

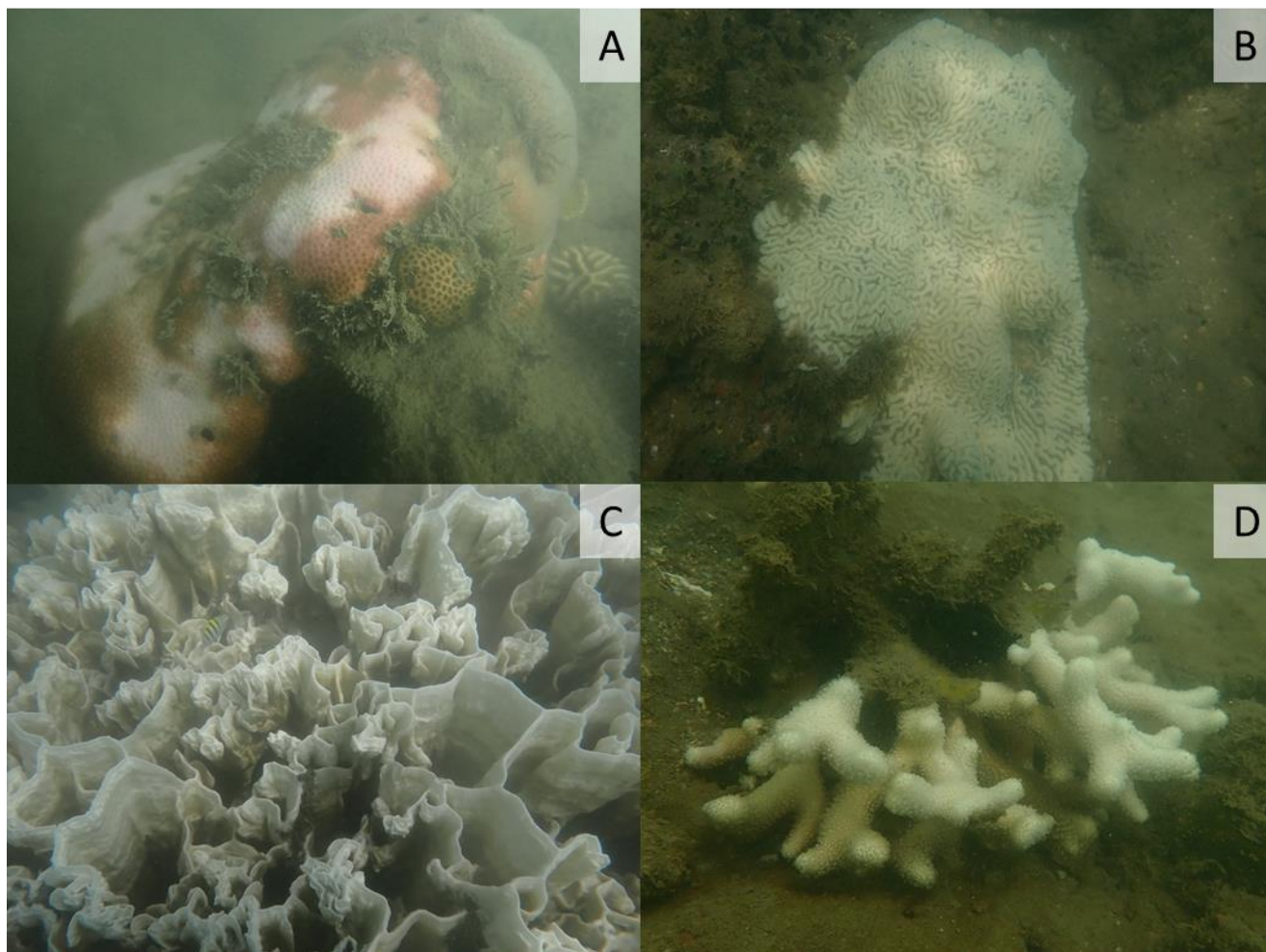


Figura 5-21. Colonias blanqueadas y palidecidas de A) *Siderastrea siderea*, B) *Pseudodiploria clivosa*, C) *Millepora complanata*, D) *Porites porites*.

Los registros a lo largo de todas las evaluaciones se muestran en la Tabla 5-3. En total, se observaron 52 especies entre corales duros, corales blandos, peces, e invertebrados. Dentro de las más representativas están *Haliclona* sp. (Figura 5-22A), como la esponja más abundante del sector, *Oculina diffusa* como una especie de coral poco frecuente en los arrecifes del Caribe colombiano (Figura 5-22B) pero con una presencia destacada en el margen noreste del área, *Antillogorgia* sp. (Figura 5-22C) como el gorgonáceo más abundante formando un ambiente característico dada su marcada presencia en el margen noroeste, *Zoanthus* sp. (Figura 5-22D), presente a lo largo y ancho del área, *Eucidaris tribuloides* (Figura 5-22E) como el erizo más conspicuo registrado en el sector y *Pterois volitans* (Figura 5-22F), especie invasora que no es típica de estos ambientes al preferir aguas más claras y profundas, pero que sin embargo tiene una presencia importante no solo en el área arrecifal sino a lo largo de toda la ensenada de Puerto Velero.

Tabla 5-3. Listado de especies encontradas en la zona coralina de Puerto Velero.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Género
Porifera	Demospongiae	Haplosclerida	Chalinidae	<i>Haliclona</i> sp.
			Niphatidae	<i>Amphimedon viridis</i>
				<i>Niphates</i> sp.
		Verongiida	Aplysinidae	<i>Aplysina insularis</i>
Cnidaria	Hexacorallia	Scleractinia	Agariciidae	<i>Agaricia tenuifolia</i>
			Faviidae	<i>Colpophyllia natans</i>
				<i>Pseudodiploria strigosa</i>
				<i>Pseudodiploria clivosa</i>
			Oculinidae	<i>Oculina diffusa</i>
			Poritidae	<i>Porites porites</i>
				<i>Porites astreoides</i>
			Rhizangiidae	<i>Siderastrea siderea</i>
				<i>Siderastrea radians</i>
		Zoantharia	Sphenopidae	<i>Palythoa caribaeorum</i>
			Zoanthidae	<i>Zoanthus</i> sp.
	Hydrozoa	Anthoathecata	Milleporidae	<i>Millepora alcicornis</i>
				<i>Millepora complanata</i>
				<i>Millepora squarrosa</i>
	Octocorallia	Malacalcyonacea	Gorgoniidae	<i>Antillogorgia</i> sp.
Mollusca	Bivalvia	Ostreida	Isognomonidae	<i>Isognomon radiatus</i>
			Pinnidae	<i>Pinna</i> sp.
	Gastropoda	Caenogastropoda incertae sedis	Cerithiidae	<i>Cerithium</i> sp.
		Neogastropoda	Vasidae	<i>Volutella muricata</i>
Annelida	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	<i>Sabellastarte magnifica</i>
Echinodermata	Echinoidea	Camarodonta	Echinometridae	<i>Echinometra lucunter</i>
				<i>Echinometra viridis</i>
		Cidaroida	Cidaridae	<i>Eucidaris tribuloides</i>
		Diadematoida	Diadematidae	<i>Diadema antillarum</i>
Chordata	Ascidacea	Phlebobranchia	Asciidiidae	<i>Phallusia nigra</i>
	Elasmobranchii	Myliobatiformes	Urotrygonidae	<i>Urobatis jamaicensis</i>
	Teleostei	Acanthuriformes	Acanthuridae	<i>Acanthurus tractus</i>
				<i>Acanthurus coeruleus</i>
			Chaetodontidae	<i>Chaetodon capistratus</i>
				<i>Chaetodon sedentarius</i>
				<i>Entomacrodus nigricans</i>
		Blenniiformes	Blenniidae	<i>Ophioblennius steindachneri</i>
				<i>Anisotremus virginicus</i>
		Eupercaria incertae sedis	Haemulidae	<i>Haemulon flavolineatum</i>
				<i>Haemulon aurolineatum</i>
				<i>Haemulon macrostomum</i>
				<i>Halichoeres bivittatus</i>
			Labridae	<i>Thalassoma bifasciatum</i>

Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Género
			Lutjanidae	<i>Lutjanus griseus</i>
				<i>Lutjanus apodus</i>
		Holocentriformes	Holocentridae	<i>Holocentrus rufus</i>
		Ovalentaria incertae sedis	Pomacentridae	<i>Abudefduf saxatilis</i>
				<i>Microspathodon chrysurus</i>
				<i>Stegastes partitus</i>
				<i>Stegastes planifrons</i>
		Perciformes	Epinephelidae	<i>Mycteroperca bonaci</i>
			Scorpaenidae	<i>Pterois volitans</i>
		Tetraodontiformes	Diodontidae	<i>Diodon holocanthus</i>

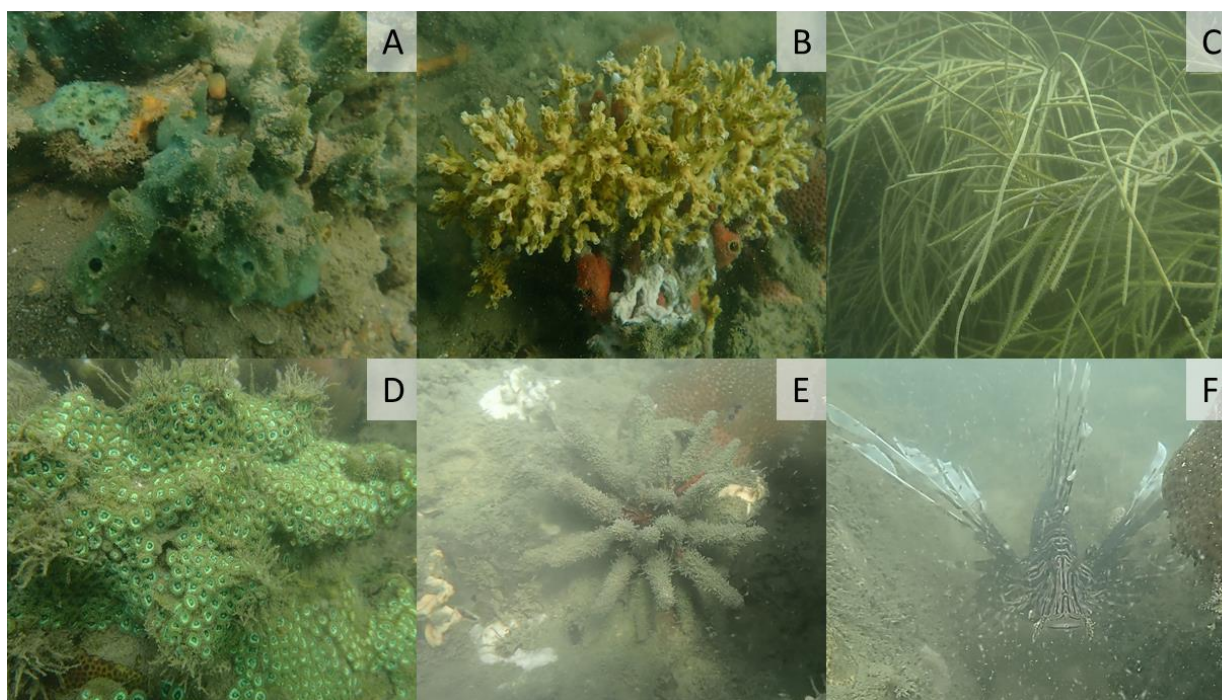


Figura 5-22. Especies registradas en la zona arrecifal de Puerto Velero. A) *Haliclona* sp. B) *Oculina diffusa* C) *Antillogorgia* sp. D) *Zoanthus* sp. E) *Eucidaris tribuloides*. F) *Pterois volitans*.

5.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El área de Puerto Velero se caracteriza por una alta dinámica de erosión y sedimentación, influenciada principalmente por el río Magdalena. Entre las principales geoformas presentes en la zona se encuentran la barra y espiga litoral, playas, lagunas costeras, pantanos de manglar, colinas y lomas; que están siendo modeladas por los procesos tectónicos, el diapirismo de lodo y la actividad fluvial. Estos factores siguen

transformando el paisaje costero y sus ecosistemas, haciendo de esta región una de las más dinámicas del Caribe colombiano.

- La determinación de la ubicación y extensión de anomalías asociadas a la presencia de corales en Puerto Velero se realizó mediante la interpretación de un mosaico de sonar de barrido lateral, identificando tres polígonos con características distintivas. En el Polígono A, se observan variaciones en reflectividad y textura en el fondo debido a la dinámica sedimentaria influenciada por el arroyo El Trebal. El Polígono B presenta una estructura lineal y rugosa, con alta reflectividad en el centro y áreas laterales de baja reflectividad asociadas a sedimentos finos. En el Polígono C, se destacan anomalías dispersas y zonas de alta reflectividad relacionadas con estructuras rugosas, como colonias de corales, rodeadas por áreas de baja reflectividad con sedimentos finos en zonas de baja energía. Estos patrones indican variaciones en la composición de los sustratos y posibles estructuras biogénicas y geológicas en el fondo del área.
- Se recomienda realizar una validación in situ y directa de los polígonos donde se identificaron anomalías en el sonar de barrido lateral, mediante la toma de muestras de sedimentos de fondo o la observación directa a través de buceo/ROV (Remotely Operated Vehicle). Este enfoque permitirá un análisis detallado de la biota y la composición sedimentaria en las áreas de interés. La combinación de estas técnicas proporcionará información precisa sobre la naturaleza de las anomalías detectadas y su relación con los ecosistemas marinos allí presentes.
- La cobertura coralina en el área de Puerto Velero presenta valores altos (por encima del 35 %), con una composición de numerosas especies con diferente tipo de crecimiento, destacando a *Siderastrea siderea* como la más representativa del sector.
- Se evidenció presencia de blanqueamiento en el área, sin embargo, su incidencia no fue muy alta al momento de la evaluación, pese a la elevada temperatura y alta turbidez que presenta el área de forma recurrente.
- El área arrecifal presentó 52 especies asociadas, entre las que se encontraron numerosos peces e invertebrados típicos de fondos duros rocosos y coralinos, como reflejo de su buena condición.
- Si bien la condición actual del área muestra en líneas generales un estado favorable, es imprescindible llevar a cabo evaluaciones periódicas, especialmente dados los recientes procesos de blanqueamiento que se vienen presentando a lo largo de todo el Caribe.

6 PROPUESTA DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL FRENTE A LOS FACTORES DE DEGRADACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO, Y DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE ALFABETIZACIÓN OCEÁNICA

Preparado por: Joel David Pacheco-Perea, Tania Liceth Córdoba-Meza y Lizbeth Janet Vivas-Aguas

6.1 METODOLOGÍA

6.1.1 Zona de estudio

Santa Verónica es una localidad costera situada en el municipio de Juan de Acosta, en el departamento del Atlántico, Colombia. Se encuentra aproximadamente a 35 km al suroeste de Barranquilla y a unos 40 km al noreste de Cartagena ([Vivesco, n.d.](#)). Limita al norte con el mar Caribe, ofreciendo playas de arena dorada que se ha convertido en un atractivo turístico para locales y visitantes. Al sur y al este, colinda con áreas rurales donde se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas. Al oeste, se encuentran otros asentamientos costeros y pequeñas comunidades, como Playa Mendoza y Arroyo de Piedra, donde predominan las actividades de pesca artesanal y ecoturismo ([Dávila y Silva, 2020](#)).

Las playas de Santa Verónica, son reconocidas por sus condiciones ideales para la práctica de deportes acuáticos como el kitesurf y el windsurf, son un atractivo turístico destacado gracias a los vientos constantes que caracterizan la zona ([Playas de Colombia, n.d.](#)). La localidad ha experimentado un crecimiento en su infraestructura turística, con alojamientos, restaurantes que ofrecen gastronomía típica y diversos servicios diseñados para los visitantes ([Playas de Colombia, n.d.](#)). Sin embargo, la playa enfrenta una amenaza constante debido a la erosión costera, la cual ha avanzado aceleradamente en los últimos años, reduciendo la extensión de sus arenales y poniendo en riesgo su desarrollo turístico. Las autoridades locales y la comunidad están buscando soluciones urgentes, como la construcción de estructuras de protección costera y proyectos de recuperación de las áreas afectadas. Además de la erosión, la contaminación por residuos sólidos es otro desafío significativo, lo que ha motivado iniciativas de limpieza, como el plogging ([El Heraldó, 2014](#); [El Tiempo, 2019](#); [2020](#); [Dávila y Silva, 2020](#), [Zona Cero, 2020](#)). Estos problemas no solo afectan el espacio físico, sino que también tienen un impacto directo en el ecosistema y en el medio de sustento de la población local.

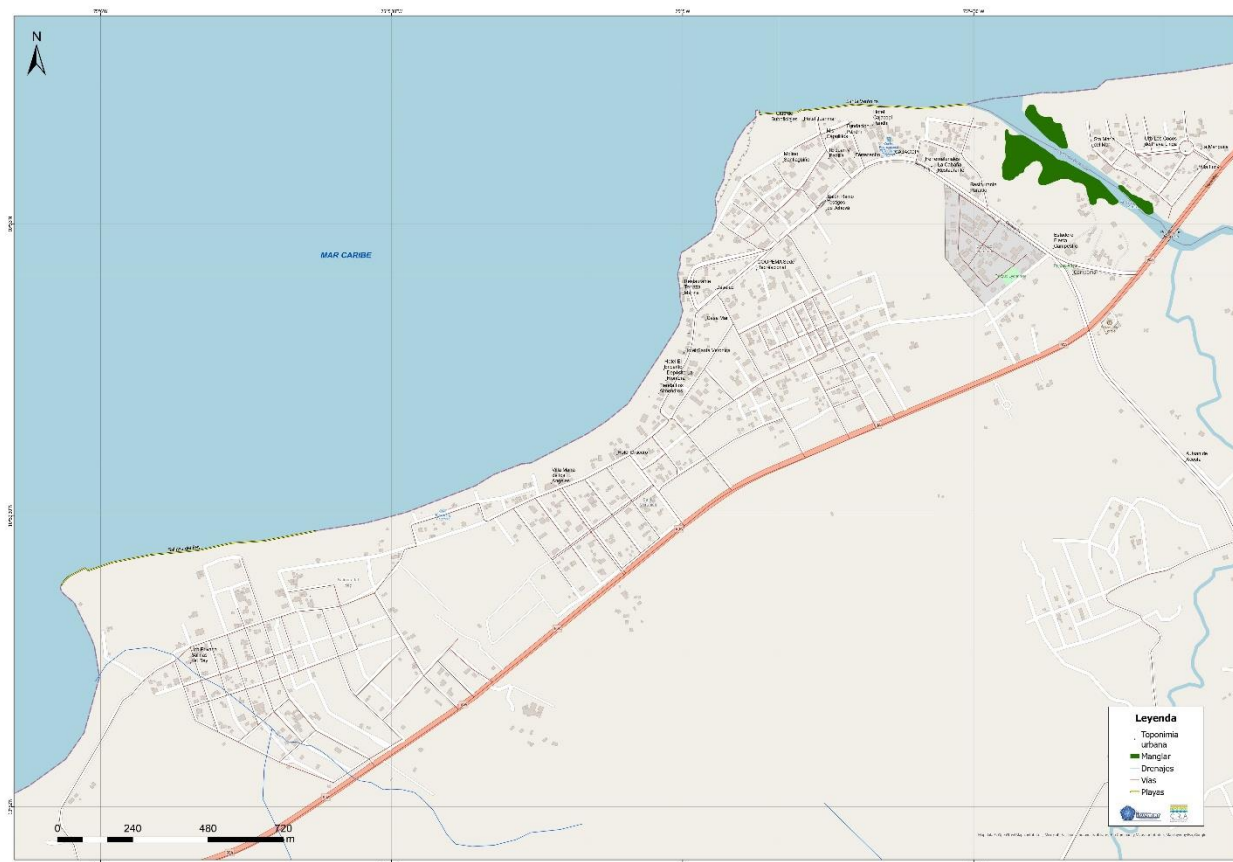


Figura 6-1 Área de estudio de la playa Santa Verónica.

6.2 METODOLOGÍA

6.2.1 Identificación de factores de degradación y valoración de potenciales impactos

Durante la salida de campo realizada del 1 al 5 de octubre de 2024, se recolectó información sobre los factores de degradación ambiental identificados en la playa Santa Verónica, municipio de Juan de Acosta, Atlántico. Durante los recorridos terrestres en la línea de costa se identificaron los factores antrópicos y naturales que potencialmente pueden causar afectación ambiental en los ecosistemas; se georreferenciaron y se tomaron fotografías. Adicionalmente, se realizaron encuestas para conocer la percepción de turistas y comunidad local sobre las condiciones ambientales de la playa, los servicios de saneamiento con los que cuenta la población y las principales fuentes de contaminación que identifican (Figura 6-2).



Figura 6-2. A) Recorrido terrestre para la identificación de factores de degradación en la playa Santa Verónica. B). Encuesta a residentes de la zona.

Valoración de impactos potenciales

Para la evaluación de impactos se utilizó la metodología (Conesa, 2009) modificada de acuerdo con Toro et al., 2013, que define la importancia del impacto en función del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida. Esta metodología se caracteriza por incluir escalas descriptivas y numéricas para calificar, a juicio del evaluador, la importancia del impacto. Para ello, se utilizó la ecuación 1 que integra seis atributos (intensidad, extensión, persistencia, reversibilidad, acumulación y recuperabilidad; Conesa, 2009). Cada atributo se evaluó aplicando escalas cualitativas, asignando un valor numérico que aumenta de acuerdo a la afectación sobre el ecosistema (Tabla 6-1). Por lo anterior, la valoración de la importancia de un impacto fue el resultado del análisis integral que se fundamenta en el conocimiento de las condiciones ambientales particulares del área de influencia (Viloria-Villegas *et al.*, 2018)

Ecuación 1:

$$I = +/-(3I + 2EX + Pe + Rv + Ac + Rc)$$

Donde,

Intensidad (I): es el grado de incidencia de la acción sobre el factor en el ámbito específico en el que actúa.

Extensión (EX): es el área de influencia teórica del impacto, en relación con el entorno donde se realizan las actividades, expresado en porcentaje del área de influencia en que se manifiesta el impacto.

Persistencia (Pe): se refiere al efecto desde su aparición, y está definido en 4 categorías: (1) Fugaz o momentáneo cuando la duración del impacto y sus consecuencias tiene el mismo período de

tiempo que la actividad que lo produce, (2) Temporal cuando el impacto y sus efectos permanecen en el ambiente por un tiempo menor a tres años, (3) Persistente cuando el impacto y sus efectos permanecen en el ambiente por un tiempo entre cuatro y diez años y, (4) Permanente cuando el impacto y sus efectos permanecen en el ambiente por un tiempo indefinido.

Reversibilidad (RV): se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez aquel deje de actuar sobre el medio.

Acumulación: representa el incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

Recuperabilidad (Rc): se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medio de la intervención humana (o sea mediante la implementación de medidas de manejo ambiental).

Tabla 6-1 Calificación y valores utilizados en la evaluación de impactos. Fuente: Toro et al., 2013.

ATRIBUTO	CALIFICACIÓN	VALOR
Intensidad (I)	Baja	2
	Media	4
	Alta	8
	Muy alta	12
Extensión (Ex)	Puntual	2
	Parcial	4
	Amplio o extenso	8
	Total	12
Persistencia del efecto (Pe)	Fugaz o momentáneo	1
	Temporal (1 – 3 años)	2
	Persistente (4 – 10 años)	4
	Permanente (> 10 años)	8
Reversibilidad (Rv)	Corto plazo (< 1 año)	1
	Mediano plazo (1 – 5 años)	4
	Largo plazo (> 5 años)	8
	Irreversible	12
Acumulación (Ac)	Simple	1
	Acumulativo	4
Recuperabilidad (Rc)	Inmediato	1
	Corto plazo (< 1 año)	2
	Mediano plazo (1 – 3 años)	3
	Largo plazo (3 – 5 años)	4
	Mitigable	8
	Irrecuperable	12

La matriz utilizada para la evaluación de impactos en la playa de Santa Verónica ubicada en el municipio de Juan de Acosta, Atlántico incluyó tres ejes. El primer eje incorporó las presiones identificadas, el segundo los factores y componentes abióticos del ambiente natural (recursos naturales, agua, suelo y aire) (Tabla 6-2). Las filas de la matriz proporcionan un resumen útil de los aspectos colectivos de las presiones actividades que pueden tener una influencia

acumulativa sobre los componentes específicos del medio natural y humano (Viloria-Villegas *et al.*, 2018).

Tabla 6-2. Matriz de identificación de impactos ambientales por componente utilizado para Punta Astilleros modificado de Conesa, 2009.

EJE 1	EJE 2	
PRESIONES	FACTOR	COMPONENTE
Residuos sólidos	Abiótico	Recursos naturales
Extracción de arena de la zona de playa		Agua
Quemas		Suelo
Vertimientos líquidos		Aire
Estructuras de protección costera artesanal	Biótico	Flora
		Fauna
Tránsito de embarcaciones	Socioeconómico	Económico
Expansión urbana		Cultural
		Salubridad

A partir del cruce de información entre las presiones identificadas y el componente ambiental (abiótico, biótico y socioeconómico), se elaboró la matriz causa y efecto para determinar las interacciones ([Anexo 6](#)). Después, se calificó de acuerdo con los rangos establecidos para obtener el grado de manifestación cualitativa de la importancia del impacto, aplicando la ecuación propuesta por (Conesa, 2009; Tabla 6-3).

Tabla 6-3. Calificación de la importancia del impacto. Modificado de Conesa, 2009.

IMPORTANCIA	RANGO
Impacto crítico	$71 \leq IM$
Impacto severo	51 - 70
Impacto moderado	21 - 50
Impacto irrelevante	$IM \leq 20$

Para finalizar se hizo la suma total de la importancia, indicando los impactos con mayor grado de afectación clasificados según el rango obtenido en la evaluación, considerando los conceptos de importancia:

Impactos críticos o muy altos: aquellos efectos que producen una pérdida permanente de las condiciones ambientales del ecosistema.

Impactos severos o altos: aquellos efectos en el que la recuperación de las condiciones del medio exige la aplicación de medidas correctoras o protectoras.

Impactos moderados o medios: son efectos cuya recuperación no precisa prácticas correctoras o protectoras intensivas, y en el que el retorno al estado inicial del medio ambiente no requiere un largo periodo de tiempo.

Impactos Leves o bajos: son aquellos impactos compatibles con el medio ambiente, con recuperación a corto y mediano plazo.

6.2.2 Propuesta de medidas de prevención y protección ambiental

El día 4 de octubre, se realizó un taller participativo con actores de la comunidad de Santa Verónica, con el objetivo de recopilar información sobre las condiciones ambientales de la zona, en el cual participaron 21 residentes, entre los cuales se encontraban pescadores y prestadores de servicios turísticos (Figura 6-3). Durante la jornada se desarrollaron cuatro momentos, en el primero se socializó el convenio actual entre CRA-INVEMAR y algunos conceptos claves para el desarrollo de las actividades del taller (Figura 6-3A). En el segundo momento, se utilizaron mapas impresos para realizar un ejercicio de cartografía social, buscando que los asistentes reconocieran su territorio e identificaran los ecosistemas, actividades antrópicas desarrolladas y las problemáticas ambientales que los afectan en la zona (Figura 6-3B).

En un tercer momento, se elaboró con los asistentes una línea de tiempo desde 1952 hasta 2024, para identificar los principales eventos, actividades socioeconómicas y cambios en la población, que han influenciado en las condiciones ambientales actuales de la playa (Figura 6-3C). Seguidamente se realizó la valoración de impactos de las actividades y presiones, evaluando el nivel de afectación que cada una de estas actividades causa sobre los diferentes ecosistemas identificados en la zona. Finalmente, se identificaron las acciones que se están realizando actualmente para mejorar las condiciones ambientales de la playa (Figura 6-3D).



Figura 6-3. Taller participativo con la Comunidad de Santa Verónica. A) Contextualización del proyecto. B) Cartografía social “reconociendo mi territorio”. C) Línea de tiempo. D) Valoración de impactos y propuestas de medidas de prevención y protección ambiental.

Se realizaron dos talleres con instituciones, el primero se desarrolló el día 29 de octubre de manera virtual y contó con la participación de funcionarios de la CRA, alcaldía de Juan de Acosta, Barranquilla Verde, Triple A, ANDI y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. En un primer momento se realizó una contextualización sobre la zona, conceptos de contaminación ambiental, requisitos de certificación de playas y se presentaron resultados preliminares de los principales factores de presión identificados en la salida de campo. A partir de este contexto y del conocimiento de cada participante sobre la zona de estudio, se aplicó un ejercicio de evaluación de las condiciones de la playa con respecto a los aspectos de sostenibilidad ambiental enmarcados en el esquema de certificación internacional “Bandera Azul” ([FEE, 2023](#)) y en la Norma Técnica NTS-TS Sectorial Colombiana 001-2 ([ICONTEC, 2007](#)), descritos en la [Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#)

Tabla 6-4. Aspectos de sostenibilidad ambiental enmarcados en el esquema de certificación internacional “Bandera Azul” (FEE, 2023) y en la Norma Técnica NTS-TS Sectorial Colombiana 001-2 (ICONTEC, 2007).

COMPONENTE	VARIABLE
Ambiental	Calidad del agua
	Drenajes o vertimientos
	Manejo de residuos solidos
	cuidado de ecosistemas
	Uso eficiente del agua
	Uso eficiente de la energía y energías renovables
Sociocultural	Sensibilización e información
	Organización de vendedores ambulantes
Económico	Satisfacción del turista
	Capacitación para los prestadores de servicios turísticos
Seguridad	Señalización de playas
	Información al público
	Accesibilidad a la playa
	Infraestructuras adecuadas
	Salvavidas y primeros auxilios

Posteriormente, se desarrolló un segundo ejercicio utilizando la plataforma Padlet, en el cual se les indicó a los participantes que describieran las acciones que se han desarrollado desde cada institución, las que consideran se deben desarrollar, quiénes son los responsables de ejercerlas y que se necesita para hacerlas (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Taller participativo para identificar factores de degradación y proponer medidas de manejo en la Playa ...

01:04:10

Controlar Separar Chat Gente Participar Reaccionar Vista Notas Salir Aplicaciones Más Cámara Micrófono Compartir Salir

C.R.A
Corporación Autónoma
Regional del Atlántico

Requisitos descritos en el esquema de certificación internacional "Bandera Azul" (FEE, 2023) y de la Norma Técnica NTS-TS Sectorial Colombiana 001-2 (ICONTEC, 2007).

Componente ambiental		Componente Seguridad	
Aspectos	Calidad del agua marina	Aspectos	Señalización en la playa
	Drenajes o vertimientos en las zonas costeras		Información al público
	Manejo de residuos sólidos		Accesibilidad e infraestructura
	Ecosistemas		Salvavidas y primeros auxilios
	Uso eficiente de agua		
Uso eficiente de energía y energías alternativas			
Prevención y atención de desastres			

Componente Económico		Componente Sociocultural	
Aspecto	Satisfacción de turista	Aspecto	Sensibilización e información
	Capacitación		Organización de vendedores ambulantes

TANIA LICETH CORDOBA MEZA

EP, RN, AC, LG, YU, LB, LM, EG

Figura 6-4 Taller virtual con Instituciones para identificar factores de degradación ambientales y medidas de prevención en la Playa de Santa Verónica, desarrollado el 29 de octubre del 2024.

El segundo taller con instituciones se llevó a cabo el día 12 de diciembre de manera presencial, y se contó con la participación de la CRA, DIMAR, Barranquilla Verde, Triple A, la gobernación del Atlántico, Cajacopi e INVEMAR. Se desarrolló un espacio de contextualización sobre la zona de estudio y las problemáticas ambientales identificadas, seguido se procedió a realizar una matriz DOFA de la zona de estudio, con ayuda de las siguientes preguntas orientadoras: *Debilidades ¿Qué acciones no se están haciendo bien?, oportunidades ¿Qué tendencias o cambios podrían favorecer la gestión ambiental en este territorio / playa?, fortalezas ¿Qué acciones se están haciendo bien? y amenazas ¿Qué obstáculos legales, impositivos o normativos enfrenta la playa? ¿Existen nuevas actividades o moda?*

Posteriormente, se evaluaron las presiones identificadas aplicando la Matriz de Vester o Matriz de Impactos Cruzados, buscando identificar las causas y efectos de las mismas, y priorizar los problemas a abordar ([Aramburú y Aliaga, 2016](#)).



Figura 6-5 Taller presencial con Instituciones para identificar factores de degradación ambientales y medidas de prevención en la Playa de Santa Verónica, desarrollado el 12 de diciembre del 2024.

Finalmente, desde cada institución se plantearon acciones por el territorio enmarcadas en los catalizadores del Plan Nacional de Desarrollo en el eje de transformación; Ordenamiento del territorio alrededor del agua y justicia ambiental (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), definiendo los actores responsables y lo que se requiere para llevarla a cabo (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).



Figura 6-6 Catalizadores del eje de ordenamiento del territorio alrededor del agua y justicia ambiental del Plan Nacional de Desarrollo ([PND 2022-2026](#))

6.2.3 Alfabetización oceánica para la apropiación social del conocimiento marino

Estrategia "Escuelas Azules": Promoviendo la alfabetización oceánica.

Con el objetivo de promover la Alfabetización Oceánica a través de la estrategia 'Escuelas Azules' se dio al desarrolló de la iniciativa para generar nuevas experiencias de aprendizaje sobre la conservación y el uso sostenible del océano. Así mismo, se orientó a fortalecer los procesos de transferencia de conocimiento oceánico y del nivel de conexión existente entre el océano y ser humano. La estrategia se desarrolló en dos (2) fases (laboratorios, semilleros) e involucró instituciones educativas, organizaciones ambientales del Departamento, los cuales fueron protagonistas y replicadores de la cultura oceánica en sus comunidades y apoyaron la generación de nuevas experiencias de aprendizaje sobre el océano (Figura 6-7)

RUTA METODOLÓGICA

FASES DE LA ESTRATEGIA DE ESCUELAS AZULES

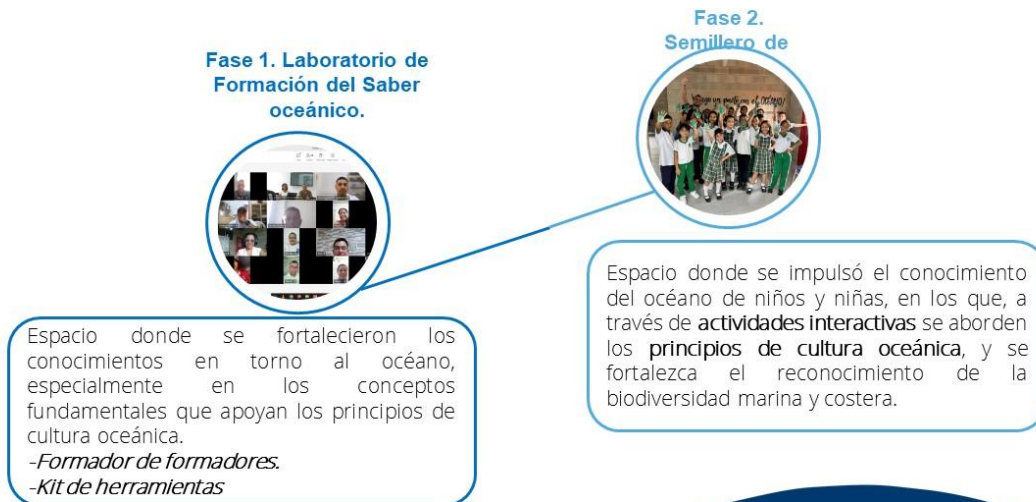


Figura 6-7 Fases desarrolladas en la Estrategia Escuelas Azules en el año 2024 del convenio CRA 004-2024.

Diagnóstico del conocimiento oceánico

Con el propósito de evaluar el nivel de conocimientos y sensibilización que tiene el público objetivo con el océano, se elaboró una encuesta que incluyó 21 preguntas que comprenden tres pilares: **conocimiento, conexión y participación** (Figura 6-8Figura 6-8;Error! No se encuentra el origen de la referencia.) enfocadas a los 7 principios y 45 conceptos de la alfabetización oceánica.

La encuesta inicialmente recoge información para caracterizar al público objetivo, en aspectos como edad, género, grado académico, acceso a internet o a computador en sus casas y colegio, ubicación geográfica y tipo de zona (rural o urbana), lo que permitió identificar el contexto de los encuestados, los posibles obstáculos, limitaciones y debilidades en el proceso de enseñanza/aprendizaje.

Las preguntas de las encuestas del conocimiento oceánico fueron diferenciales para cada público: docentes, estudiantes de básica primaria y de secundaria la cual consta de varias preguntas que abarcaron los tres pilares distribuidos así; siete (7) preguntas de participación, dos (2) preguntas de conexión y ocho (8) preguntas de conocimiento. Las preguntas enfocadas al pilar de conocimiento abarcaron temáticas de los siete (7) principios de la alfabetización oceánica y de manera complementaria, también se incluyó una pregunta para conocer si identificaban algunas especies marinas (tiburones, rayas y quimeras). Y dos preguntas para determinar la conexión de los encuestados con el océano.



Figura 6-8. Instrumento para el diagnóstico del conocimiento oceánico.

6.3 RESULTADOS

6.3.1 Identificación de factores de degradación y valoración de potenciales impactos

En la Figura 6-9 se presentan los factores de degradación y ecosistemas identificados en la playa de Santa Verónica, los recopilados en las encuestas y aportados en el taller con la comunidad.

Entre los factores de degradación identificados en campo, se destacaron los residuos sólidos, la extracción de material para construcción y los vertimientos de aguas residuales, principalmente.

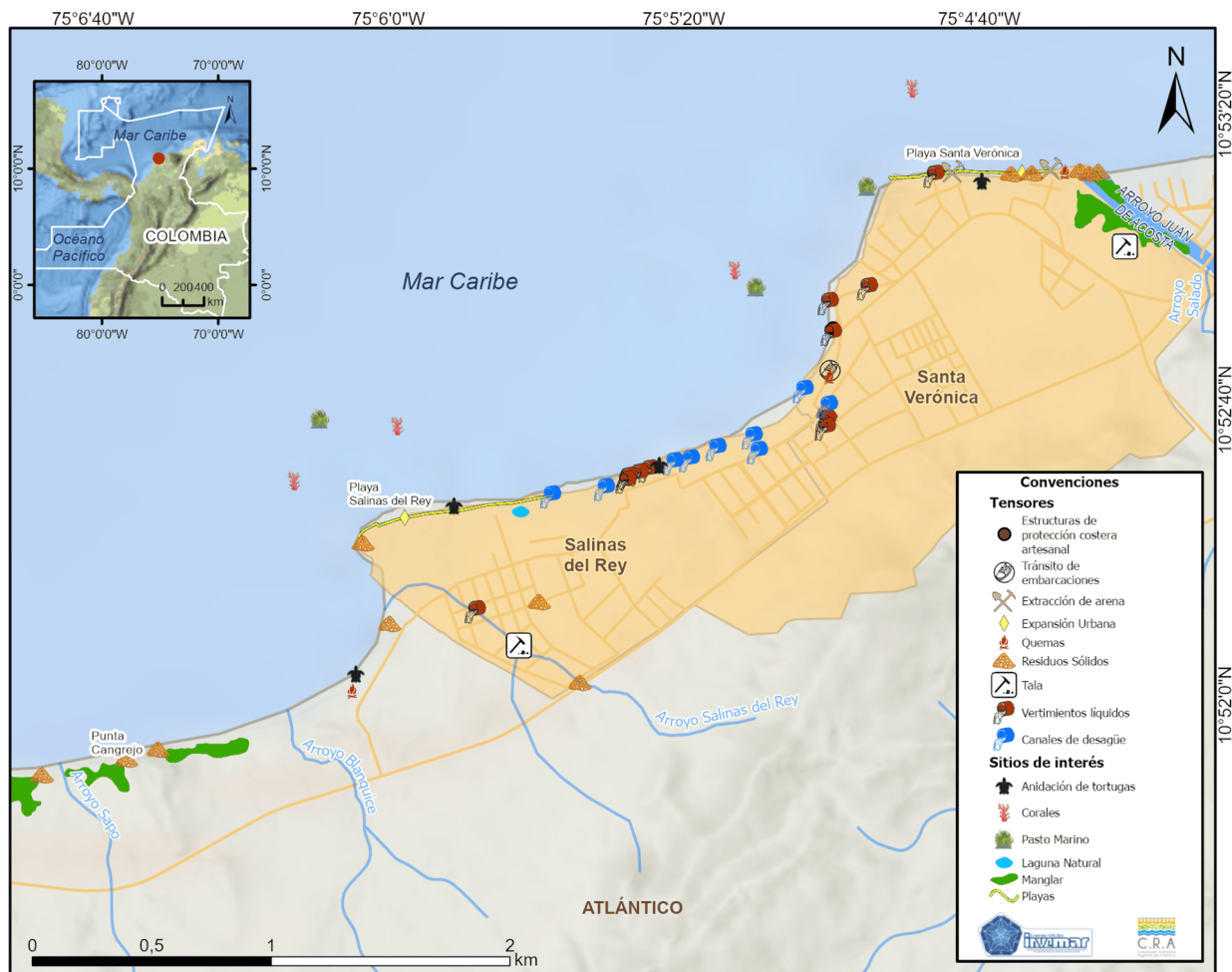


Figura 6-9. Factores de degradación ambiental y ecosistemas identificados en la Playa de Santa Verónica, Juan de Acosta, Atlántico.

6.3.1.1 Residuos sólidos

Durante el recorrido se observaron puntos de acumulación de residuos sólidos como plástico, madera, vidrio, icopor, latas y redes de pesca. El plástico y la madera fueron los residuos más abundantes en la playa y en la zona de manglar, con una mayor acumulación en la zona aledaña al arroyo Grande de Juan de Acosta y en el arroyo de Salinas del Rey, que son las vías de entrada de grandes cantidades de residuos a la zona costera, principalmente en la época lluviosa. Aunque, a lo largo de la playa se observaron zonas sin residuos, los pobladores y comerciantes indicaron que, durante la época lluviosa, toda la playa se ve afectada por estos residuos y que cada establecimiento realiza la recolección en las áreas más cercanas (Figura 6-10).

Durante el recorrido solo se observaron tres contenedores para recolección de residuos, estos evidenciaron falta de mantenimiento, ya que se encuentran deteriorados y con los residuos desbordados alrededor (Figura 6-10D).



Figura 6-10. Residuos Sólidos A) Acumulación de residuos sólidos en la desembocadura del arroyo Grande de Juan de Acosta. B) Acumulación de residuos sólidos en el sector de salinas del rey. C) Acumulación de residuos sólidos en el sector de mayor concentración turística. D) Contenedor de residuos sólidos en mal estado.

6.3.1.2 Extracción de arena de la zona de playa

Se observó la extracción de arena en la zona aledaña al arroyo Grande de Juan de Acosta, de acuerdo a lo indicado por los residentes, esta es una práctica que se realiza desde hace varios años y con frecuencia, para utilizar el material extraído en construcción (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), lo anterior, constituye un factor que genera perturbación en el hábitat marino y puede potencializar la problemática de erosión que afecta la playa (Rodríguez - Paneque *et al.*, 2009). Adicionalmente, también afecta la belleza paisajística y el uso recreativo de la zona, disminuyendo el potencial turístico de la playa.



Figura 6-11. Extracción de arena de la zona de playa.

6.3.1.3 Quemadas

Se evidenciaron puntos de quemados en la playa, y algunos residentes mencionaron que son de las fogatas que algunos visitantes utilizan para cocinar, utilizando la madera que se encuentra en la playa. No se logró identificar si también se realizan quemados para eliminar residuos sólidos, ya que, la población cuenta con servicio de aseo para la recolección de residuos que pasa una vez por semana (Figura 6-12).



Figura 6-12. Quemados en la zona de playa

6.3.1.4 Vertimientos líquidos

La población de Santa Verónica no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales ni alcantarillado, por lo que los residuos líquidos se disponen en pozas sépticas. Durante el recorrido no fue posible evidenciar el estado de las mismas y de acuerdo a la información recopilada en las encuestas, no se les realiza mantenimiento periódico. Se observaron varias

tuberías de desagüe saliendo de las edificaciones (casas y restaurantes), por donde estaba escurriendo aguas residuales con olores desagradables (Figura 6-13 A-B)

Por otra parte, se observaron 7 canales de desagüe de agua lluvia y dos caños por los cuales se drenan las aguas de escorrentía desde diferentes sectores de la población, los cuales traen a la playa todo tipo de residuos (Figura 6-13 C).

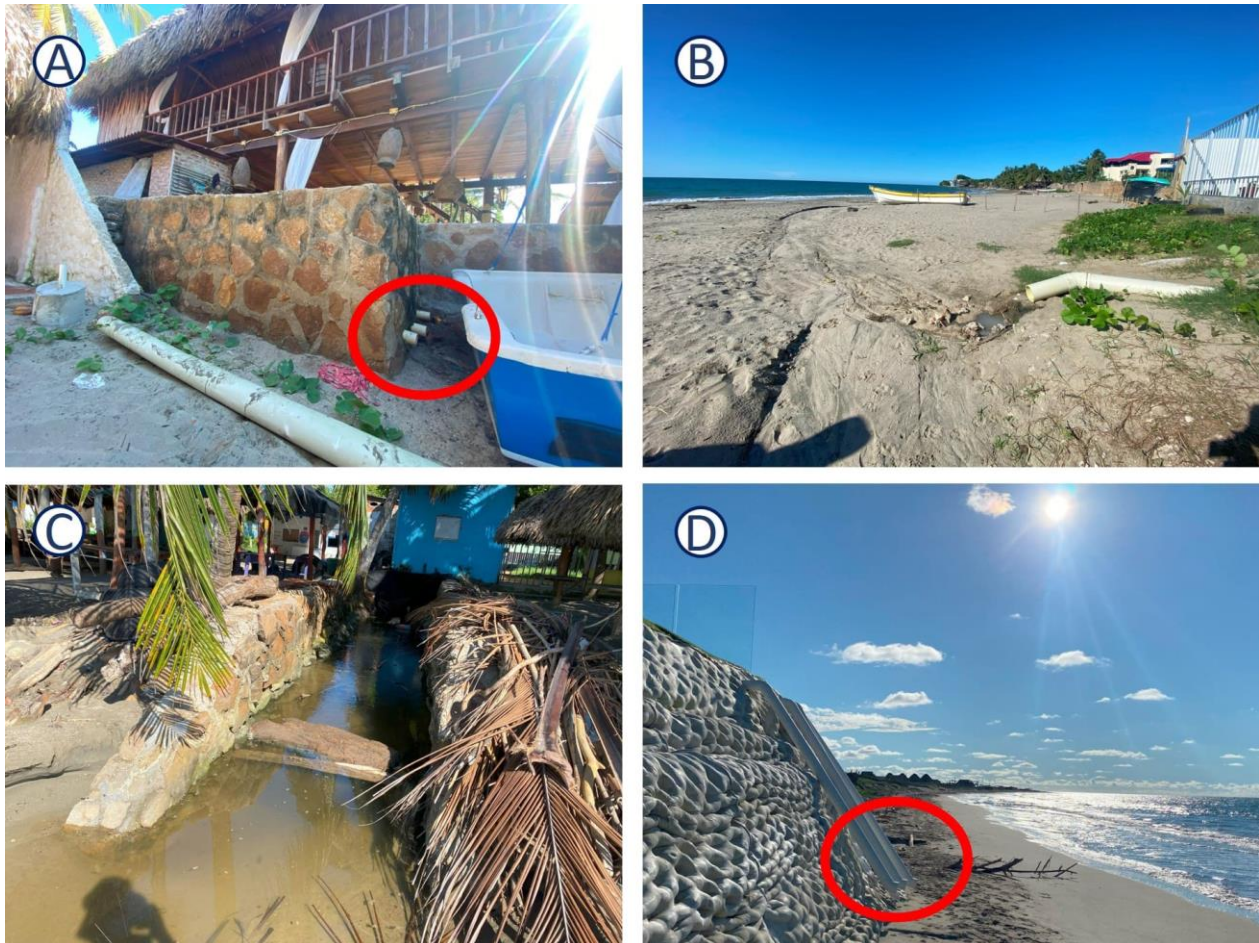


Figura 6-13. Vertimientos. A) Vertimiento de aguas negras en un restaurante de la zona turística. B) Vertimiento a la playa de aguas grises provenientes de un hotel de la zona. C) Canal de desagüe de aguas lluvias. D) Tuberías de vivienda hacia la playa.

6.3.1.5 Estructuras de protección costera artesanal

Se identificaron estructuras artesanales para la protección de la playa, ubicados principalmente en la zona más comercial, donde se concentra la mayor cantidad de negocios. En este sector los efectos de la erosión costera son más críticos. Las estructuras artesanales son costales y bolsas

de plástico llenos de arena que son dispuestos de forma perpendicular a la línea de costa (Figura 6-14), el problema identificado es que estos materiales se deterioran por los efectos del agua de mar y el sol, generando pequeñas partículas (microplásticos), que ingresan al ecosistema y generan impactos negativos en el ambiente.



Figura 6-14. Estructuras de protección costera artesanal



6.3.1.6 Tránsito de embarcaciones

Durante el recorrido se observaron lanchas sobre la playa, alrededor de éstas se encontraron redes de pesca y algunas en su interior tenían residuos sólidos y agua estancada, no se sabe si es una lancha de uso actual o es una embarcación abandonada (Figura 6-15).



Figura 6-15. Embarcaciones sobre la playa. B) Residuos sólidos y agua estancada al interior de una embarcación.

6.3.1.7 Expansión urbana

En los recorridos por la línea de costa se observaron varias construcciones, asociado al crecimiento urbanístico y al incremento del turismo en la playa de Santa Verónica.



Figura 6-16. Construcciones aledañas a la playa. A, B y C) Construcciones ubicadas en el sector de Villas de Santa Verónica. D) Construcción en el sector de Salinas del Rey.

Identificación participativa de factores

A través de la actividad de cartografía social, los participantes del taller identificaron los sitios críticos que presentan problemáticas ambientales, entre las que resaltaron la acumulación de residuos sólidos, disminución de cobertura vegetal y la expansión urbana. Este ejercicio, también permitió identificar ecosistemas importantes como corales, pastos marinos y zonas de anidación de tortugas, los cuales requieren ser evaluados para conocer sus condiciones actuales y así generar acciones que permitan su preservación (Figura 6-9).

Como parte de los resultados de la construcción participativa de la línea de tiempo (Figura 6-17), que recogió información de los últimos 70 años (1952 a 2024), los participantes mencionaron que desde 1952 se dieron los primeros asentamientos en la zona, posteriormente se inicia la actividad turística consolidándose hacia 1984. Destacaron que el fenómeno climático que más los afectó fue el huracán Joan en 1988, causando gran perturbación en el ecosistema de playa, ya que consideran que, a partir de ese momento, el proceso de erosión costera ha ido

aumentando, lo cual ha afectado el cerro Ferú, que es una barrera de protección natural contra los vientos y el salitre. Este evento, también dejó pérdidas económicas en los establecimientos comerciales.

Entre los cambios importantes, también mencionaron que entre los años 2019 y 2022, se presentó un incremento significativo en la construcción de infraestructura, asociado al aumento del turismo y al auge del deporte kitesurf, como consecuencia se generó tala en el cerro de Santa Verónica, ocupación de playas y nivelación de dunas en el sector de Salinas del Rey.



Figura 6-17. Línea de tiempo construida de forma participativa con los actores clave en la playa Santa Verónica, durante el taller de identificación y evaluación de impactos ambientales potenciales realizado el día 4 de octubre de 2024.

Evaluación de impactos potenciales

Se identificaron 133 efectos ambientales potenciales asociados a los siete factores de degradación identificados ([Anexo 6](#)), de los cuales el 11% generan un impacto crítico sobre la playa, el 42% un impacto severo, el 44% un impacto moderado y el 3% un impacto leve. Las principales presiones que contribuyen a los impactos críticos fueron los residuos sólidos (11%), los vertimientos (2%) y la expansión urbana (2%), registrando que los valores más críticos (entre -76 y -80) están relacionados con la contaminación del agua y del suelo, la proliferación de desechos y riesgos asociados a la afectación de la salud pública.

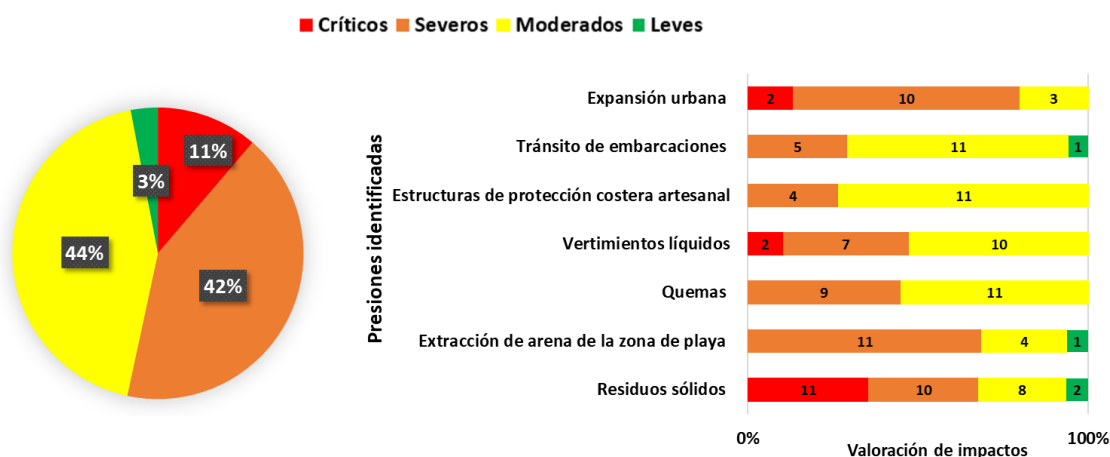


Figura 6-18. Resultados de la evaluación de impactos ambientales en la playa Santa Verónica, Atlántico.

La acumulación de residuos sólidos fue una presión presente a lo largo de toda la playa, generando un total de 31 impactos, once (11) estuvieron en la categoría crítica, diez (10) en la categoría severa y ocho (8) en moderada. Esta presión se asocia principalmente con los aportes de los arroyos, caños y canales de agua lluvia que se encuentran en la zona. Además, según lo señalado por la comunidad, las actividades turísticas agravan esta problemática, intensificada por la falta de contenedores de basura en gran parte de la zona de playa. El mayor número de impactos críticos se relacionan con el componente abiótico, principalmente por la contaminación que los residuos plásticos pueden generar en el agua y el suelo, ocasionando la pérdida de las condiciones naturales de la playa y la afectación de fauna y flora asociada.

Los vertimientos, generan un total de 19 impactos, donde (2) estuvieron en la categoría crítica, siete (7) en categoría severa y diez (10) en categoría moderada y dos fueron leves. Los impactos críticos afectan principalmente el suelo, puesto que es el componente ambiental que recibe

directamente estos residuos, deteriorando la calidad del mismo y alterando el hábitat de la fauna asociada.

En cuanto a la Expansión Urbana, se encontró que genera un total de 15 impactos, de los cuales cuatro (2) estuvieron en categoría crítica, diez (10) en categoría severa, tres (3) en categoría moderada. El impacto principal también recae sobre el componente abiótico (suelo), identificando que los efectos ambientales asociados más críticos son la Introducción de desechos urbanos como plásticos y químicos y la generación de vertimientos.

Estos resultados coinciden, con lo registrado en la valoración participativa de impactos realizada con la comunidad, en la cual se determinó que los residuos sólidos y los vertimientos, son las presiones que causan mayor grado de afectación en los diferentes ecosistemas identificados en la zona entre los cuales la comunidad destacó la playa, el manglar, arroyos (Figura 6-19).

ACTIVIDADES/PRESIONES		PERCEPCIÓN DE LA AFECTACIÓN POTENCIAL					
		¿QUÉ RECURSO O ECOSISTEMAS SON AFECTADOS POR CADA ACTIVIDAD?					
		 Playas	 Manglar	Corales	Cuencos de Aguas (Arroyos)	Bosque Seco Tropical	Puerto Marino
1 Baja Afectación							
2 Mediana Afectación							
3 Alta Afectación							
	Agricultura	● ●	● ●	● ●	●	●	●
	Ganadería	● ● ●	● ●	● ●	●	● ●	●
	Vertimientos	● ● ● ●	● ● ●	●	●	●	●
	Pesca artesanal	● ● ●	●	●	●	●	●
	Residuos sólidos	● ● ● ●	● ● ● ●	● ●	●	●	●
	Quemas	● ● ●	● ●		●	●	●
	Turismo de playa	● ● ● ●	● ●	● ●	●	●	●
	Tala/leñateo	● ●	● ●	●	●	●	●
	Infraestructura	●	● ●	●	●	●	●
	Tráfico de embarcaciones	● ●	● ● ●	● ●	●	●	●
	Extracción de material de construcción	● ● ● ●	●	●	●	● ●	●
	Extracción de fauna	● ● ●	● ●	● ● ●	●	● ●	●
	NULA Oportunidad u Otras Amenazas	●	●	●	●	● ●	●

Figura 6-19. Valoración participativa de las presiones identificadas en Santa Verónica

Matriz vester

A través de la aplicación de la matriz *Vester*, se contrastaron y ponderaron según su dependencia e influencia los diferentes factores de degradación identificados en la playa Santa Verónica, obteniendo una clasificación que permite definir la atención y manejo que requiere cada problemática (Tabla 6-5; [Aramburú y Aliaga, 2016](#)).

Tabla 6-5 Factores de degradación ambiental identificados en la Playa de Santa Verónica mediante observaciones en campo. La calificación está relacionada con la dependencia e influencia que tiene cada variable con las demás, donde: (0) no la causa; (1) la causa indirectamente o tiene una relación media; y (3) la causa directamente o tiene una relación fuerte.

CÓDIGO	VARIABLE	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	INFLUENCIA
P1	Residuos sólidos	0	3	3	0	2	1	2	11
P2	Expansión urbana	3	0	3	2	1	0	1	10
P3	Vertimientos Líquidos	2	3	0	0	0	1	1	7
P4	Extracción de arena de la zona de playa	1	3	0	0	1	0	2	7
P5	Quemas	3	2	1	0	0	0	0	6
P6	Tránsito de embarcaciones	2	1	1	0	1	0	0	5
P7	Estructuras de protección costera artesanal	2	2	0	2	0	0	0	6
DEPENDENCIA		13	14	8	4	5	2	6	52

En este caso los resultados indican que los factores de degradación Residuos sólidos (P1) y Expansión urbana) son los más críticos, ya que tienen alta influencia (11 y 10, respectivamente) y alta dependencia (13 y 14, respectivamente). Esto indica, que son los que más afectan al ecosistema y los más impactados por otros factores de degradación, por lo que deben ser gestionados con prioridad. La variable Vertimientos líquidos (P3), también se encuentra ubicada en el cuadrante crítico, registrando una influencia y dependencia moderadas (7 y 8). Los factores Extracción de arena (P4), Quemas (P5), y estructuras de protección costera artesanal (P7), se ubican en el cuadrante activos, evidenciando que tienen influencia alta sobre otros factores y baja dependencia, cabe resaltar, que estas variables también requieren atención prioritaria, ya que son fuente de otros factores. Finalmente, el tránsito de embarcaciones (P6) se clasificó en el cuadrante indiferente, indicando que tiene un impacto limitado sobre el ecosistema, es decir, no afectan significativamente a otras variables.

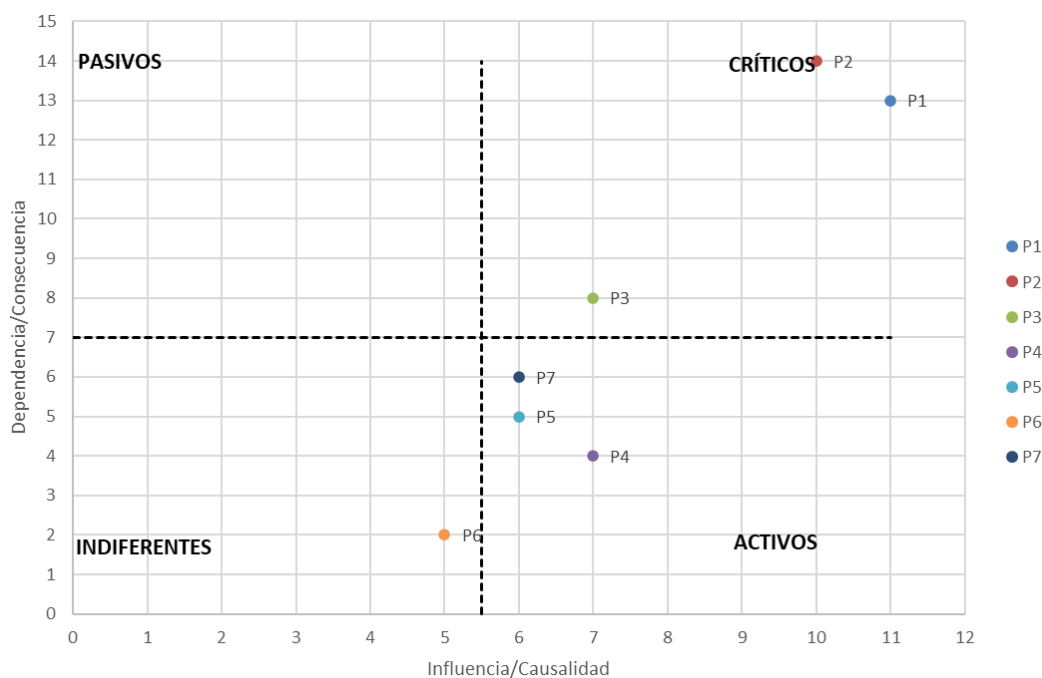


Figura 6-20 Matriz Vester de factores de degradación ambiental identificados en la playa de Santa Verónica: P1: residuos sólidos P2: expansión urbana; P3: vertimientos líquidos; P4: extracción de arena de la zona de playa; P5: quemazas; P6: tránsito de embarcaciones; P7: estructuras de protección costera artesanal.

6.3.2 Propuesta de medidas de prevención y protección ambiental

Las medidas de prevención y protección ambiental se construyeron de manera participativa, incorporando las percepciones, necesidades y aportes tanto de la comunidad como de las instituciones locales. Entre los ejercicios desarrollados, la evaluación de los criterios de sostenibilidad establecidos por el programa “Bandera Azul” (FEE, 2023) y la Norma Técnica NTS-TS Sectorial Colombiana 001-2 (ICONTEC, 2007) reflejó, que la mayoría de los aspectos evaluados en los componentes ambiental, sociocultural, económico y de seguridad presentan percepciones mayoritariamente entre "malo" y "regular", factores como el uso eficiente del agua, drenajes, manejo de residuos sólidos y señalización de playas se destacan como críticos, mientras que pocos elementos, como la calidad del agua y accesibilidad a la playa, presentan una percepción más favorable. En general, se requiere implementar acciones específicas en todos los componentes para fortalecer estos aspectos y mejorar las condiciones de sostenibilidad de la playa Santa Verónica (Figura 6-21)

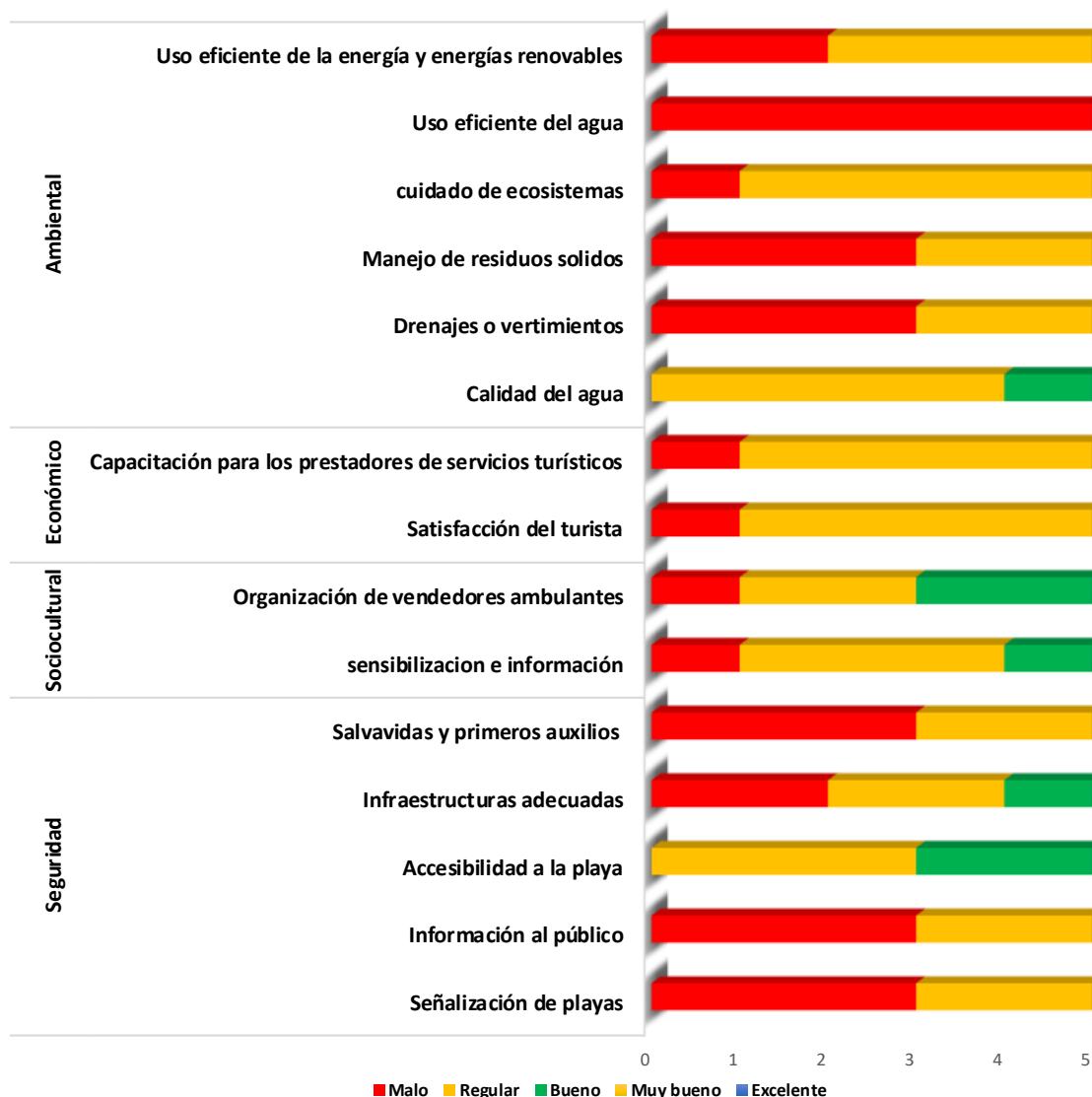


Figura 6-21. Resultados de la evaluación de los aspectos de sostenibilidad para la playa de Santa Verónica, Juan de Acosta, Atlántico, realizada en el primer taller con instituciones realizado el 29 de octubre en modalidad virtual.

Por otra parte, la construcción de una matriz DOFA de la playa Santa Verónica, permitió destacar importantes fortalezas, como los ecosistemas marinos, el potencial turístico, la presencia de un comité interinstitucional de educación ambiental y CRA - INVEMAR. Entre las oportunidades sobresalen la implementación del ecoturismo, llegada de ayuda internacional y el desarrollo de infraestructura y proyectos locales que pueden fortalecer la gestión. Sin embargo, existen debilidades significativas, como la falta de indicadores de gestión, pobreza, presencia de bandas criminales, falta de infraestructura (alcantarillado), y poca educación y cultura ciudadana, lo que

dificulta las intervenciones efectivas. Las amenazas más críticas incluyen el cambio climático, aumento del nivel del mar, erosión costera, expansión urbana, turismo descontrolado, residuos sólidos, vertimientos ilegales (Figura 6-22).

Matriz DOFA



Figura 6-22. Matriz DOFA de la playa de Santa Verónica, Juan de Acosta, Atlántico, Elaborada en el segundo taller con instituciones que se llevó a cabo el día 12 de diciembre de 2024.

A partir de los ejercicios realizados, se recopilaban las acciones propuestas por la comunidad para mejorar las condiciones ambientales de la playa Santa Verónica y sus alrededores. Entre las más representativas destaca la necesidad de fomentar un desarrollo inmobiliario planificado que respete los ecosistemas, así como avanzar en la elaboración, aprobación y aplicación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de Juan de Acosta y del Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) de los arroyos que influyen en el sector. Complementando estas iniciativas comunitarias, en la Tabla 6-6, se describen una serie de medidas de prevención y protección ambiental, desarrolladas conjuntamente con las

instituciones responsables de la gestión costera, enfocadas en mitigar las principales presiones que afectan a la playa, proteger sus recursos naturales y promover un uso sostenible del espacio.

Estas medidas se enmarcan en los catalizadores justicia ambiental y gobernanza inclusiva, el agua y las personas como determinantes del ordenamiento territorial, y la coordinación de instrumentos de planificación de territorios vitales. Entre las acciones destacadas, se incluyen la implementación de planes como el POT, POMCA y PGRI, así como estrategias de educación ambiental y programas de capacitación que promuevan el uso sostenible de los recursos. Su ejecución requiere la colaboración articulada de instituciones como la C.R.A., DIMAR, Barranquilla Verde, y los gobiernos locales, departamentales y nacionales, junto con las comunidades, entre otras. Las principales necesidades se centran en la asignación de recursos económicos y tecnológicos, especialmente para el saneamiento básico, así como el control de las fuentes de contaminación y garantizar la continuidad y el seguimiento de los proyectos.

Tabla 6-6. Catalizadores, acciones, actores y necesidades encaminadas a la protección ambiental de la playa Santa Verónica

CATALIZADORES	ACCIONES	ACTORES RESPONSABLES	NECESIDADES
Justicia ambiental y gobernanza inclusiva	1. Generar programas de capacitación ambiental, que incluyan: -Capacitaciones en resolución de conflictos ambientales relacionados con el recurso hídrico. -Educación ambiental sobre los ecosistemas presentes en la playa. -Buenas prácticas de pesca, uso y mantenimiento de embarcaciones -Manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos y separación en la fuente	-Barranquilla verde -C.R. A -CIDEA Distrital -CIDEA Departamental	Fortalecer la articulación con la CRA para visibilizar con mayor claridad el impacto de la contaminación distrital en los arroyos y su repercusión en las playas de Juan de Acosta.
	2. Realizar talleres para dar a conocer las acciones y proyectos de prevención y protección que se están realizando en el territorio por entidades públicas y privadas para promover una gobernanza inclusiva en la zona	-Cajacopi -Comunidades -C.R. A -DIMAR -Alcaldía	Trabajar de la mano de las autoridades de control y fortalecer la apropiación del conocimiento por parte de la comunidad.

CATALIZADORES	ACCIONES	ACTORES RESPONSABLES	NECESIDADES
	3. Investigaciones genéricas y/o administrativa. Comunicaciones oportunas (Articulación interinstitucional)	-DIMAR -C.R. A -Autoridades ambientales -Entes territoriales -Acciones comunales -Asociación de pescadores -Oficina de registro público AUNAP	-Recursos económicos y humanos. -Voluntad política -Seguimiento - Mesas de trabajo efectivas
El agua y las personas como determinantes del ordenamiento territorial.	4. Formar a la comunidad en los instrumentos políticos enfocados en la conservación y restauración de los ecosistemas.	-Barranquilla verde -C.R. A -CIDEA Distrital -CIDEA Departamental	Fortalecer la articulación con la CRA para identificar las diferentes fuentes de contaminación y los efectos que generan en los diferentes ecosistemas.
	5. Mayor investigación del ecosistema: - Generar conocimiento sobre la dinámica ecosistémica; arroyos, caños, dunas, manglar, pastos y corales. -Parámetros hidrosedimentológicos -Evaluación del estado ecológico del ecosistema fluvial (caños y arroyos) -Evaluaciones geomorfológicas. -Caracterización de vegetación.	-CRA -Gobernación y alcaldía -Comunidad asociada -Ministerios (Ambiente, vivienda y turismo). Comité local para el ordenamiento de playa.	-Planes de saneamiento básico -Asignación de recursos económicos y humanos
	6. Generar estrategias de Inclusión y acceso equitativo al agua, así como garantizar saneamiento básico a la población-.	Gobierno local, triple A y comunidades locales	Inversión en infraestructura, tecnología, innovación, y control

CATALIZADORES	ACCIONES	ACTORES RESPONSABLES	NECESIDADES
	7. Generar programas de limpieza de la playa, que incluyan: - Acuerdos con empresas prestadoras del servicio de aseo para la recolección de los residuos -Diseño e implementación de un sistema de manejo de residuos orgánicos como compostaje o lombricultura. -Jornadas de limpieza en toda la línea de costa y zonas aledañas.		
Tenencia en las zonas rural, urbana y suburbana formalizada, adjudicada y regularizada.	8. Formalización de servidores turísticos (Concesiones y permisos).	-DIMAR -Alcaldías -Policía ambiental -Defensoría del pueblo -Procuraduría asuntos agrarios Comité local para el ordenamiento de playa.	Fortalecimiento de personal y recursos para restituciones
	9. Investigaciones y actuaciones jurídicas para restitución.		
Coordinación de los instrumentos de planificación de territorios vitales.	10. Generar, actualizar e implementar los instrumentos de planificación territorial: PAMIUC – PGIRS POMCA – POTS y Planes de desarrollo, basados en procesos de: - Zonificación de la playa. -Estudios sobre el desarrollo de la expansión urbana con el fin de crear esquemas que promuevan el cumplimiento de una expansión sostenible, respetando los ecosistemas.	-Gobierno local -Triple A DIMAR CRA	Diagnóstico inicial – Marco normativo regulatorio. Planificación y monitoreo. Sostenibilidad a largo plazo.

6.3.3 Alfabetización oceánica para la apropiación social del conocimiento marino

Estrategia “Escuelas Azules”: Promoviendo la alfabetización oceánica.

Durante el desarrollo de toda la estrategia de Escuelas Azules, se realizaron tres (3) diferentes encuentros presenciales y virtuales: un (1) laboratorio virtual de formación del saber oceánico (virtual), dos (2) semilleros de cultura oceánica presenciales en Instituciones educativas del Atlántico ([Anexo 7](#)). Con estas actividades orientadas hacia la cultura oceánica y aprendizaje de prácticas de conservación y uso sostenible de los mares, costas, sus recursos y ecosistemas asociados. La Estrategia contó con un total de **524 participantes** en las diferentes actividades de la Estrategia, de los cuales fueron 7 líderes ambientales y sociales, 49 docentes, 185 estudiantes de primaria, 283 estudiantes de secundaria (Figura 6-23).

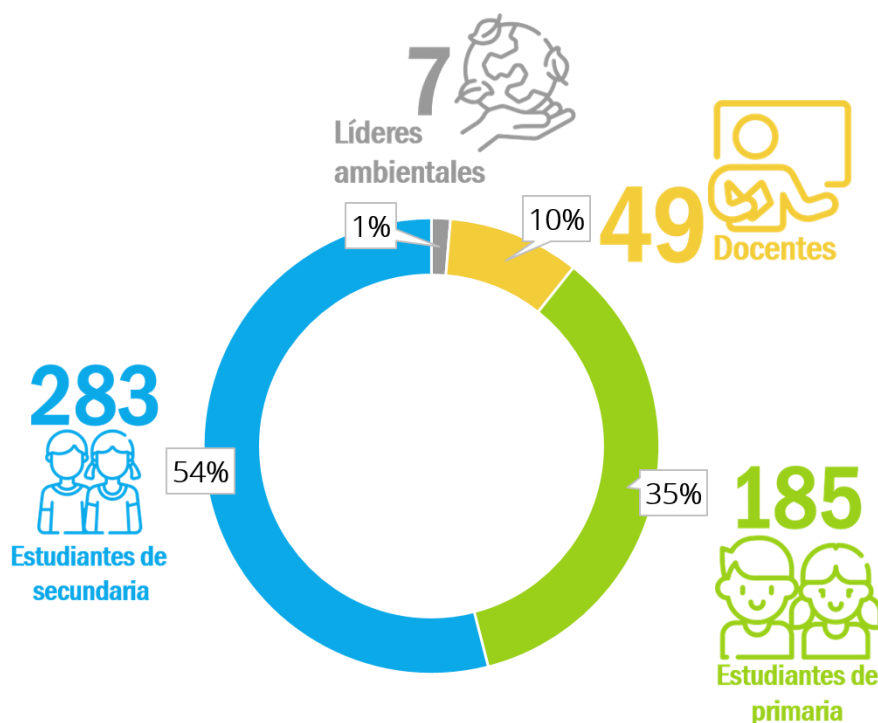


Figura 6-23. Número de participantes en las actividades de Alfabetización oceánica de la estrategia Escuelas Azules en el Departamento del Atlántico en el año 2024

Laboratorio de formación del Saber oceánico:

Esta primera fase de la Estrategia, se llevó a cabo de manera virtual, realizando un espacio de transferencia y apropiación de conocimientos relacionados con el mar (Figura 6-24). Durante el evento, se explicó cómo el “océano influye en el ser humano y cómo las acciones humanas influyen en el océano”. El laboratorio contó con un total de 40 participantes (75% docentes, 17% otros, 5% estudiantes y 2% rectores) de las Instituciones Educativas de los municipios de Barranquilla, Juan de Acosta, Puerto Colombia, Luruaco, Sabanalarga, Tubará, Soledad y Manatí.

Se contó con la participación de tres expertos: Moisés Gallo Ávalos, educador y comunicador ambiental, miembro del Grupo de Trabajo en Cultura Oceánica (GT-COCEAN) del Comité Oceanográfico Nacional de Chile (CONA) de la Armada de Chile; Gabriela Casuso, líder y fundadora del “Proyecto Acuática” y Luis Chasqui, Jefe Línea de Investigación Biología y Estrategias de Conservación del INVEMAR con la temática de biodiversidad marina; quienes a través de sus charlas reforzaron las bases de los 7 principios esenciales y 45 conceptos de la cultura oceánica.

El evento se dividió en cinco momentos:

En el **primer momento** a los asistentes se les dio a conocer sobre el convenio 004-2024 entre INVEMAR y CRA, la Estrategia Escuelas Azules y un breve contexto sobre la Alfabetización Oceánica (Figura 6-24B). El **segundo momento**, a través de un diálogo a cargo de Luis Chasqui sobre la biodiversidad marina, permitió reforzar y compartir nuevos conocimientos con los asistentes sobre: Generalidades, taxonomías, especies amenazadas y plataformas de información sobre Tiburones, Rayas y Quimeras en Colombia. También en este momento algunos asistentes contaron sus experiencias fundamentadas en la apreciación de la biodiversidad marina como fuente de nuestro bienestar y sustento (Figura 6-24C).

Para el **tercer momento** fue posible que los participantes reflexionaran sobre su relación con el océano y entendieran las problemáticas que se presentan en la alfabetización oceánica, a través de la charla “A mojarse los pies: Una introducción a la cultura oceánica” a cargo del Moisés Gallo, en la cual tuvieron la oportunidad de pensar un momento sobre el primer recuerdo que tenían sobre el océano (Figura 6-24D) y también conocer los problemas del océano (crisis climática, contaminación, pérdida de hábitat, sobrepesca y el desconocimiento), la historia, principios, desafíos, barreras e iniciativas de cultura oceánica, Gallo finalizó su intervención dando un consejo a los asistentes con la frase: *“El mar es la patria de todos los soñadores, en todas las vidas en pugna con lo cotidiano hay un golpe de mareas y es en el surco abierto por los barcos donde fructifican las semillas de los mejores sueños.”* Salvador.

En el **cuarto momento**, por medio de la “Charlas El Océano” a cargo de Gabriela Casuso se profundizó que todo está conectado y se incentivó a los docentes y rectores a realizar actividades como dibujos, cuentos, películas, juguetes, ferias escolares, proyectos de educación enfocados a la parte marina dentro de sus actividades diarias con la comunidad estudiantil. Además, señala que como ideas clave en la educación marina se debe combatir la triple crisis (desinformación, ignorancia e indiferencia) de la comunidad profundizando la teoría de que sin azul no hay verde (Figura 6-24E). En el **quinto momento**, se realizó la socialización del Kit de Herramientas del océano (Figura 6-24F) para replicar la información en las Instituciones a través del rol de formador de formadores y por último un espacio de conclusiones, palabras de agradecimiento y foto oficial del evento (Figura 6-24A)

De acuerdo con lo anterior, la mayoría de los asistentes manifestaron con intervenciones que consideran que sus conocimientos sobre el océano son escasos y su conexión con él es baja debido a varios factores. Principalmente, la falta de educación y programas informativos accesibles sobre la importancia y la biodiversidad del océano contribuyen a esta percepción, también el océano es percibido como un recurso lejano y abstracto, lo que dificulta la conexión y por último las experiencias directas con el océano son limitadas para muchos.



Figura 6-24. Laboratorio de formación del Saber oceánico 2024. A) Fotografía oficial de asistentes al Laboratorio. B) Contexto y generalidades del convenio 004-2024. C) Diálogo a cargo de Luis Chasqui sobre la biodiversidad marina D) Charla "A mojarse los pies: Una introducción a la cultura oceánica" a cargo del Moisés Gallo. E) "Charlas El Océano" a cargo de Gabriela Casuso. F) Socialización del Kit de herramientas para la alfabetización oceánica.

Semilleros de Cultura Oceánica:

La segunda fase, se enfocó en impulsar el conocimiento del océano de niños, niñas, adolescentes y docentes de educación básica primaria y básica secundaria de dos (2) instituciones educativas del municipio de Juan de Acosta, Atlántico; I.E.A.T.T de Santa Verónica y I.E Juan V Padilla, donde se llevaron a cabo encuentros presenciales en los que a través de actividades lúdicas interactivas llevamos el océano a sus colegios abordando los principios de Alfabetización oceánica, y se fortaleciendo el reconocimiento de la biodiversidad que habita en los ecosistemas marinos y costeros del departamento, resaltando la importancia de los servicios ecosistémicos e incentivando prácticas relacionadas con la protección ambiental, fortaleciendo así su relación con el océano (Figura 6-25)



Figura 6-25. Actividades Lúdicas Interactivas Semilleros de Cultura Oceánica. A) Sensibilización Principios de Cultura Oceánica. B) El océano que soñamos. C) Pesca en el Océano. D) Pacto con el océano. E) Expedición de la Biodiversidad Marina Museo Makuariwa. F) La vida marina.

Actividades lúdicas interactivas realizadas en los fueron:

1. *Sensibilización de los Principios de Cultura Oceánica:* Con ayuda de un póster ilustrativo, se abordaron desde una perspectiva educativa, resaltando la interconexión entre los seres humanos y el océano, así como el compromiso colectivo para su protección (Figura 6-25A).
2. *El océano que soñamos:* Por medio del arte, el coloreado, se les brindaron figuras marinas para colorear, como también paisajes con basuras, las cuales debían colorear para tener cuidado y recordar cuando visiten las playas (Figura 6-25B).
3. *Pesca en el Océano:* Es un juego de gran formato donde los participantes pescaban los residuos que se encuentran en el océano y conocían los impactos ambientales que generan. Para esto, se usaban tarjetas que explican el tiempo de descomposición de algunos productos plásticos y tarjetas en forma de peces que explican los impactos de los plásticos en algunos recursos pesqueros como los peces. Este juego es una lona banner impresa de 2x2 m (Figura 6-25C).

4. *Pacto con el océano*: En un mural los participantes del semillero firmaban un pacto con el mar. Este pacto lo hacían con la huella de sus manos, dedos, escribiendo o dibujando algo en el mural (Figura 6-25D).
5. *Expedición de la Biodiversidad Marina*: A través de la exposición del Museo Makuriwa, los niños apreciaron la gran diversidad de vida y de ecosistemas que sustenta el océano (Figura 6-25E).
6. *La vida marina*: Evidenciar a través de un estéreo que la vida marina no se reduce solo a animales grandes, sino que también los animales pequeños son complejos y detallados y que tienen muchas de características únicas (Figura 6-25F).

Diagnóstico del conocimiento oceánico

La encuesta se aplicó a 328 personas de dos Instituciones educativas 167 en la Institución Educativa Académica Técnica y turística Santa Verónica y 161 en el Instituto Educativa Juan V Padilla ubicados en el municipio de Juan de Acosta en el departamento del Atlántico. De acuerdo al público objetivo encuestado, 106 fueron estudiantes de educación básica primaria, 195 estudiantes de educación básica secundaria y media, y 27 docentes (Figura 6-26).



Figura 6-26. Participantes del diagnóstico del conocimiento de océano

Caracterización de la población objetivo:

De los 328 encuestado, la mayoría fueron estudiantes de secundaria (59 %) (Figura 6-27A); el 52% eran del género femenino (Figura 6-27B). Los rangos de edades con mayor participación fueron entre 11 a 15 años con un 58%, seguido de los menores de 10 años (17%) (Figura 6-27D); lo que indica, que, los estudiantes de cuarto, quinto, séptimo y octavo grado fueron los que más participaron.



Figura 6-27. Caracterización de la población objetivo del diagnóstico de conocimiento. A) Número de respuestas por público objetivo. B) Género de las personas encuestadas. C) Número de respuestas por Institución. D) Edades de los encuestados. E) Número de participantes por grados académicos.

Conexión con el océano:

Kearns y Collins (2012) afirman que, para comprender plenamente la relación entre los seres humanos y el océano, es necesario tener en cuenta "los sentimientos de las personas, así como sus percepciones", mientras que Lotze (2020), enfatiza la importancia tanto del amor como del conocimiento, para lograr un cambio duradero para el océano. Por lo anterior, se espera que

quienes viven en zonas costeras sean más conscientes y tengan una mayor conexión con el océano.

Por lo anterior, para conocer la conexión con el océano del público objetivo, le preguntamos, **¿Con qué frecuencia tiene contacto con el océano (playas, bahías, costas) ?**, clasificando la conexión en tres niveles alta, media y baja. Siendo la conexión alta un contacto con el océano de todos los días o una vez por semana, la conexión media con un contacto de una vez al mes y la conexión baja con un contacto de una vez al año o nunca.

En la Figura 6-28, los niveles de conexión con el océano reflejan diferentes porcentajes en los estudiantes y docentes, lo que puede explicarse por varios factores relacionados con la edad, el enfoque educativo y las experiencias personales. Los **estudiantes de primaria** presentaron la conexión más alta con un 61%. Este alto porcentaje puede explicarse porque, a esta edad, los niños están en una etapa de desarrollo en la que la curiosidad y el interés por la naturaleza están muy presentes. A menudo, las actividades educativas para este grupo se centran en la exploración de la naturaleza de una manera interactiva y visual, lo que fomenta una mayor conexión con el océano y, además, los programas educativos en primaria suelen incluir excursiones, visitas a la playa o proyectos relacionados que permiten que los niños se involucren activamente en el aprendizaje sobre el océano.

Los **estudiantes de secundaria** tuvieron una conexión media con un 39%. En esta etapa, los jóvenes comienzan a tener un enfoque más académico y menos exploratorio sobre el mundo que los rodea. Si bien la conciencia sobre los problemas ambientales y la importancia del océano sigue presente, la conexión puede verse reducida porque los contenidos educativos tienden a ser más teóricos y están menos vinculados a experiencias prácticas. Además, en secundaria, los intereses personales y las preocupaciones por otras áreas del conocimiento pueden disminuir la atención hacia temas como la conservación del océano, lo que explica su nivel intermedio de conexión.

Los **docentes**, con un 41% de conexión, presentaron el porcentaje más bajo en comparación con los estudiantes. Esto podría estar relacionado con varios factores. En primer lugar, los docentes, aunque responsables de la enseñanza, pueden no estar tan inmersos en la experiencia directa con el océano o en actividades educativas relacionadas con este, debido a la carga de trabajo y la planificación de sus clases. Además, algunos docentes pueden no recibir formación específica sobre temas ambientales o del océano, lo que limita su capacidad para transmitir una conexión más profunda a sus estudiantes. Esto puede contribuir a una menor percepción de conexión con el océano en comparación con los estudiantes.

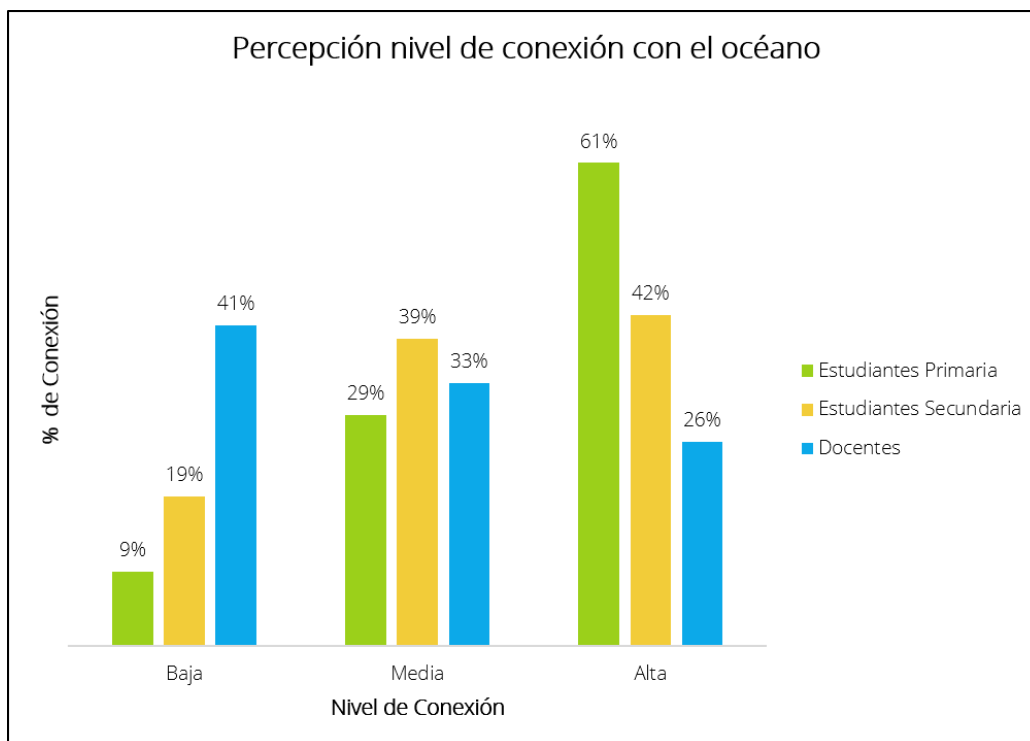


Figura 6-28 Nivel de la percepción de la conexión de la población objetivo con el océano en el diagnóstico de conocimiento en el marco del convenio CRA 004-2024.

Conocimiento Oceánico:

Para determinar el estado del conocimiento del océano en nuestro público encuestado, analizamos siete (7) preguntas enfocadas a cada uno de los principios y conceptos de la cultura oceánica. Es decir, del **principio 1** “La Tierra tiene un solo gran océano con muchas características”, **principio 2** “El océano y la vida que éste alberga moldean las características de la Tierra”, **principio 3** “El océano ejerce una gran influencia sobre las condiciones climáticas y meteorológicas”, **principio 4** “El océano hace posible que la Tierra sea habitable”, **principio 5** “El océano sustenta una gran diversidad de vida y de ecosistemas”, **principio 6** “El océano y los seres humanos están intrínsecamente conectados” y **principio 7** “La mayor parte del océano permanece inexplorado” ([Anexo 8](#)).

Estudiantes de primaria: El 100% de los estudiantes de primaria, han respondido correctamente la pregunta relacionada al principio 7, dejando un margen de error de 0%, lo que indica un excelente conocimiento en este principio que puede estar relacionado con una enseñanza frecuente y detallada en este principio. Sin embargo, el 79% responden incorrectamente la pregunta relacionada con el principio 3, lo que indica que desconocen la relación que tiene el océano con el clima en las playas (Figura 6-29). Es importante destacar que en los principios 1, 5 y 6 los estudiantes de primaria obtuvieron más del 80% de aciertos, lo que refleja un buen nivel

de conocimiento sobre diversos aspectos clave. En particular, se comprende que el agua del océano es salada debido a los minerales que transportan los ríos, reconocen la diversidad de animales que habitan en los arrecifes de corales, y entienden que evitar tirar basura es fundamental para el cuidado de nuestros océanos. Por lo contrario, se evidencian áreas de conocimiento deficientes, especialmente en los principios 2 y 4 en los temas relacionados con la influencia que tiene el océano en la tierra y los animales marinos que ayudan a producir oxígeno en el océano.

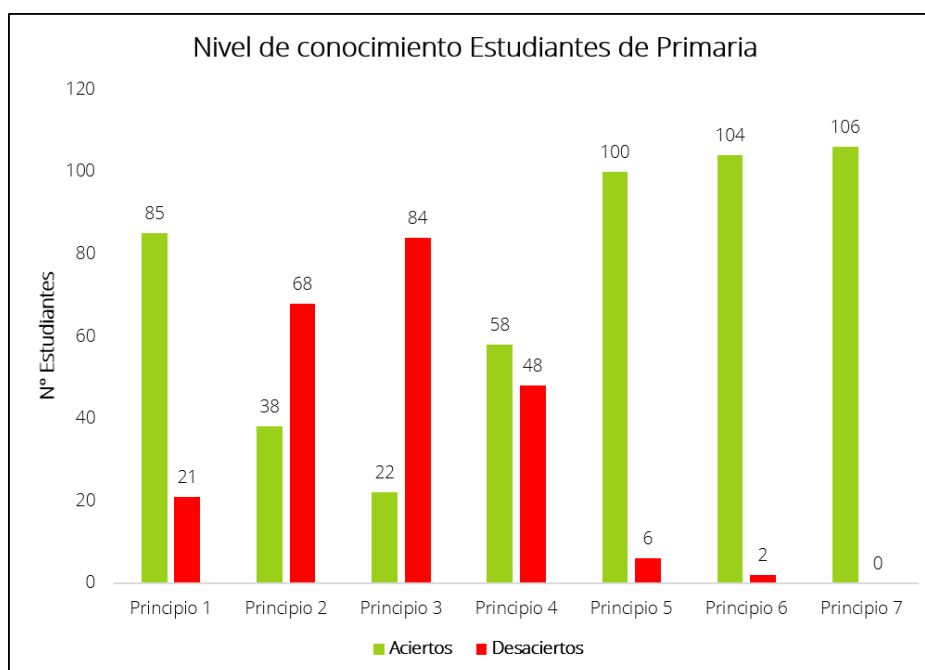


Figura 6-29 Nivel de conocimiento de los estudiantes de primaria en los siete (7) principios de la alfabetización oceánica.

Estudiantes de secundaria: El 75% de los estudiantes de secundaria, han respondido correctamente la pregunta relacionada al principio 6, dejando un margen de error de 25%, lo que indica un buen conocimiento en este principio sobre la conexión intrínsecamente entre el océano y los seres humanos. Sin embargo, el 68% respondieron incorrectamente la pregunta relacionada con el principio 4, lo que indica más de la mitad de los estudiantes de secundaria desconocen que en el océano se originó la mayor parte del oxígeno presente en la atmósfera (Figura 6-30). En los principios 1,2,3 y 7 se evidencia un porcentaje de aciertos por encima del 59%, lo que refleja un buen conocimiento sobre cuantos océanos tiene el planeta tierra, composición de la arena que se encuentra en las playas, que el intercambio del calor entre el océano y la atmosfera regula el clima y por qué es importante explorar nuestros océanos, sin embargo, se deben proponer estrategias para fortalecer estos principios. En cambio, en el

principio 5 se evidencia una brecha de desconocimiento sobre la biodiversidad marina, en especial sobre qué son los arrecifes de corales.

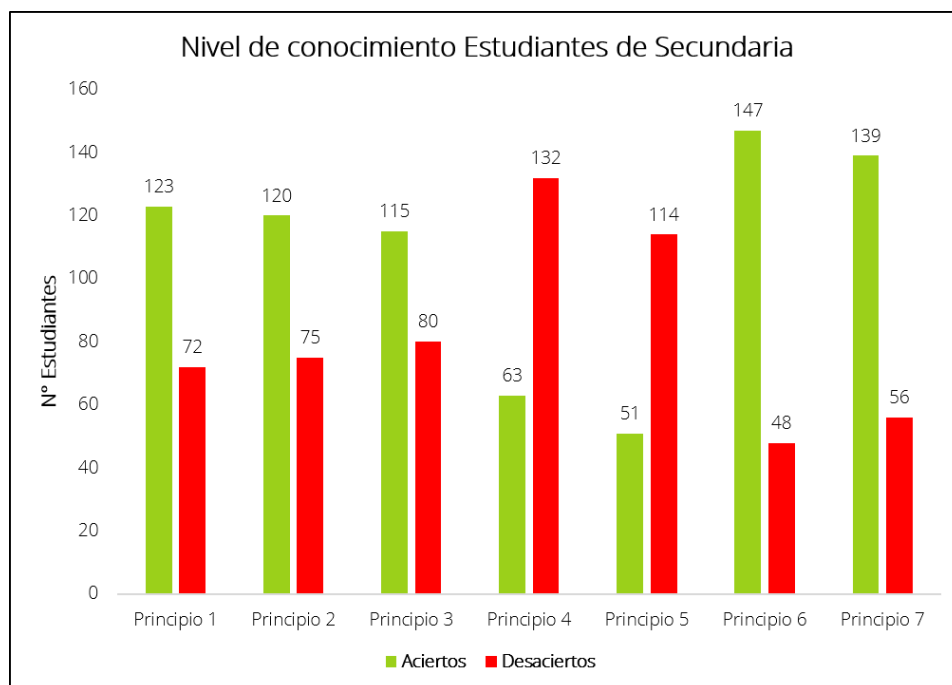


Figura 6-30 Nivel de conocimiento de los estudiantes de secundaria en los siete (7) principios de la alfabetización oceánica.

Docentes: El 96% de los docentes, han respondido correctamente las preguntas relacionadas con los principios 3 y 6, dejando un margen de error del 4%, lo que indica un excelente conocimiento sobre la influencia que ejerce el océano sobre las condiciones climáticas y meteorológicas, también sobre la conexión intrínsecamente entre el océano y los seres humanos. Sin embargo, el 100% respondieron incorrectamente la pregunta relacionada con el principio 7 lo que indica que desconocen completamente que la mayor parte del océano permanece inexplorado (Figura 6-31).

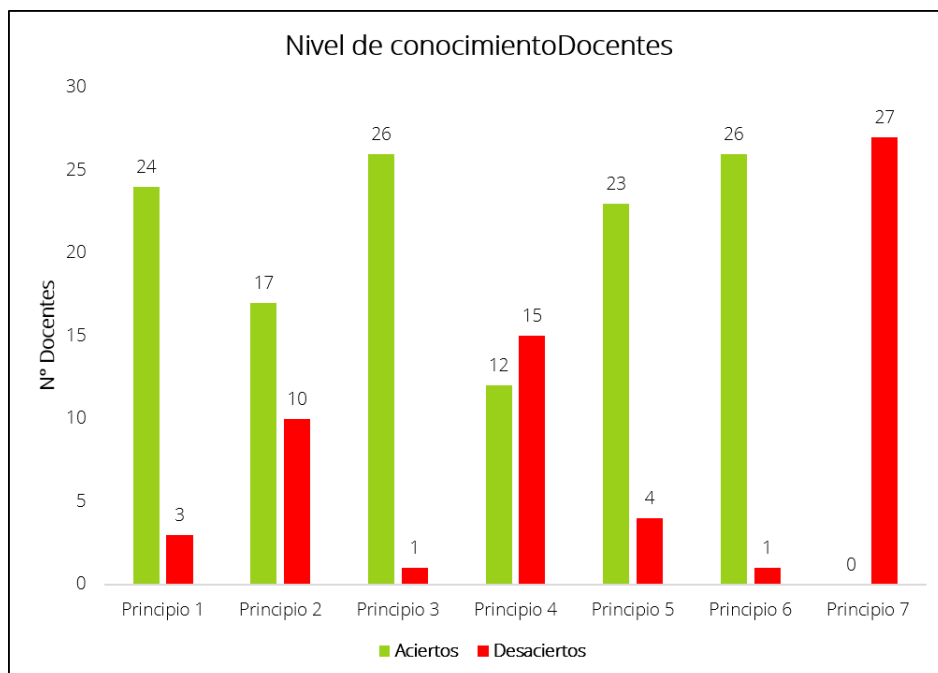


Figura 6-31 Nivel de conocimiento de los docentes en los siete (7) principios de la alfabetización oceánica.

Además de las preguntas relacionadas con la participación, la conexión y el conocimiento sobre los principios de la alfabetización oceánica, se le preguntó al público objetivo encuestado si conocían las quimeras, las rayas y los tiburones. En la Figura 6-32 se observa que la mayoría está familiarizada con las rayas y los tiburones. Sin embargo, en contraste, las quimeras son poco conocidas: El 85% (90) de los estudiantes de primaria, el 87% (169) de los estudiantes de secundaria y el 74% (20) de los docentes desconocen este tipo de especies.

Por lo anterior, en los Semilleros de Cultura Oceánica por medio de la exposición del Museo Makuriwa, los niños y docentes (Figura 6-25E) apreciaron la especie *Rhinochimaera sp.* Conocidas como quimeras de nariz larga, son peces cartilaginosos de aguas profundas que pertenecen a la familia *Rhinochimaeridae* y destacan por su aspecto peculiar y su adaptación a hábitats marinos remotos. Se caracterizan por tener un cuerpo alargado y delgado, con un hocico prominente en forma de espátula, el cual utilizan para buscar alimento en el fondo marino, además de poseer una espina dorsal venenosa que les sirve como defensa. Habitan en profundidades que van desde los 200 hasta los 2,000 metros, principalmente en el talud continental y zonas abisales, lo que dificulta su estudio y observación. Estas quimeras tienen una distribución global en océanos tropicales y templados y son ovíparas, depositando huevos protegidos por cápsulas coriáceas. Su papel ecológico es significativo, ya que contribuyen al

equilibrio de los ecosistemas bentónicos al alimentarse de invertebrados y mantener la dinámica de las cadenas tróficas en las profundidades marinas.

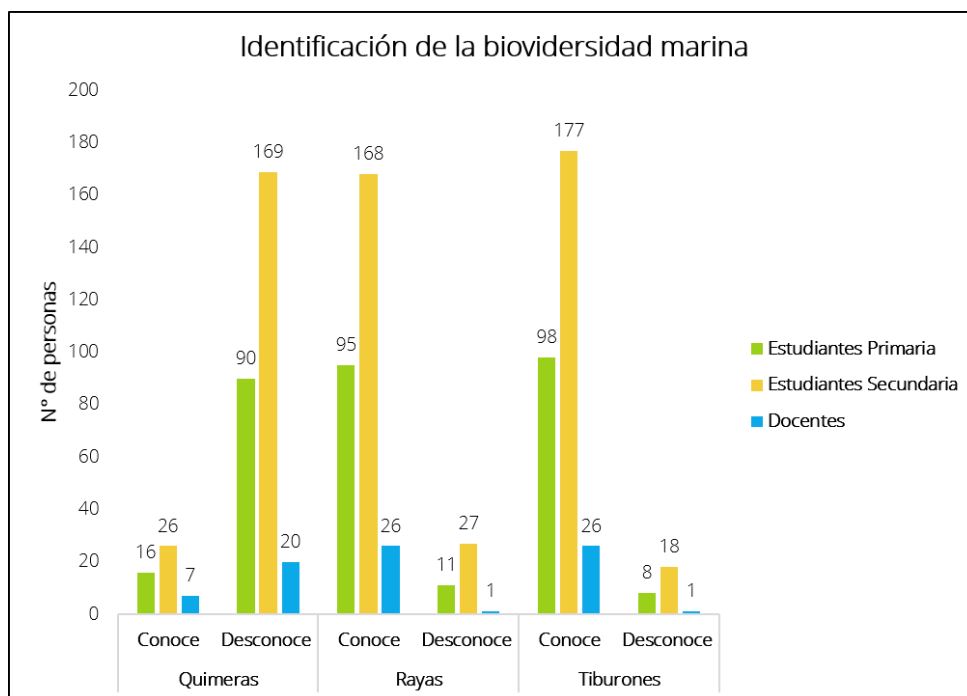


Figura 6-32 identificación de la biodiversidad marina

6.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los principales factores de degradación ambiental identificados en la playa Santa Verónica fueron los residuos sólidos, la expansión urbana y los vertimientos líquidos, los cuales generan impactos negativos que afectan los componentes abióticos y bióticos del ecosistema de playa. Los impactos críticos fueron evidentes en la contaminación del agua, del suelo y la alteración de hábitats naturales, lo que implica realizar una atención prioritaria para abordar su gestión.

Se formularon 10 medidas para la protección ambiental de la playa Santa Verónica, que incluyen acciones basadas en los principios de justicia ambiental y gobernanza inclusiva, considerando el agua y las personas como factores clave del ordenamiento territorial, así como la coordinación de instrumentos de planificación de territorios vitales. Para su implementación, es fundamental evaluar la viabilidad de las medidas y fomentar la colaboración entre instituciones locales, departamentales y nacionales. Además, se debe priorizar el fortalecimiento de las capacidades comunitarias, con el fin de lograr un equilibrio entre la protección del ecosistema y el desarrollo sostenible.

Se recomienda fortalecer la articulación interinstitucional y comunitaria para implementar efectivamente las acciones propuestas, priorizando la asignación de recursos económicos y tecnológicos, así como el seguimiento y monitoreo continuo de las actividades. Además, es crucial promover la educación ambiental y la gobernanza participativa como pilares, para garantizar la continuidad de los procesos, fomentando la corresponsabilidad entre actores públicos, privados y comunitarios en la protección del ecosistema de la playa Santa Verónica.

La Estrategia Escuelas Azules logró una participación significativa, involucrando a 524 personas en distintas actividades orientadas a la alfabetización oceánica y la prevención y protección de los ecosistemas marinos costeros del Atlántico. Se recomienda continuar con estas iniciativas, asegurando que la Estrategia Escuelas Azules se extiendan a más instituciones y comunidades del departamento, para que se pueda generar una cultura oceánica al interior de sus comunidades.

Además, que se vinculen proyectos de aula relacionados con la protección de los ecosistemas marinos y costeros de la región, siendo espejo para otras instituciones o sectores donde se promuevan medidas de prevención y protección de los ecosistemas marinos territorios para lograr el océano que soñamos.

7 SEGUIMIENTO A LA EROSIÓN COSTERA Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS

Preparado por: Marco Elías González Arteaga, Johan Casadiego Estévez, Jorge Díaz Rentería, Laura Martínez Lacharme, Laura Botero Vinasco, Magnolia Murcia Riaño, David Morales Giraldo, Constanza Ricaurte Villota.

7.1 METODOLOGÍA

7.1.1 *Alternativa de solución híbrida basada en la naturaleza*

Con el objetivo de desarrollar alternativas de soluciones híbridas basadas en la naturaleza como estrategia para mitigar la erosión costera en la Ciénaga de Mallorquín y promover una protección costera resiliente, se implementará una combinación de herramientas y técnicas enfocadas en la recopilación de información y la aplicación de estrategias participativas (talleres). En este contexto, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

7.1.1.1 *Análisis de variables oceanográficas y atmosféricas*

Las variables oceanográficas y atmosféricas representan un factor importante a la hora de comprender y determinar las causas de la erosión costera y sus posibles soluciones. Entre estas se encuentran las características del oleaje, la circulación y el patrón de vientos. Este análisis se realizó mediante una revisión sistemática de la información bibliográfica existente para el área de interés, la cual se combinó con un análisis de información satelital disponible para las variables atmosféricas (viento y precipitación) y las variables oceánicas (oleaje y corrientes).

La descripción del oleaje se obtuvo a partir de la información del Servicio Marino Copernicus de la UE; del producto Global Ocean Waves Reanalysis con una resolución espacial de $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ y una resolución temporal mensual para el área oceánica adyacente a la ciénaga de Mallorquín. Para la determinación de los forzantes de viento se utilizaron datos del producto de reanálisis ERA 5, donde se realizó un promedio de los últimos 3 años, diferenciado por época climáticas.

7.1.1.2 *Análisis de la morfología costera*

Análisis perfiles de playa

Los perfiles de playa proporcionan evidencia de la variabilidad espaciotemporal de la superficie costera ([Torres et al., 2024](#)). Las características morfológicas y los parámetros relacionados con la amplitud, pendiente y volumen de la playa permiten generar conocimiento sobre la dinámica, evolución y es de utilidad en la gestión y recuperación del sistema costero.

La campaña de campo para la adquisición de perfiles topográficos se llevó a cabo del 24 al 26 de septiembre en las estaciones indicadas en la Figura 7.1. Para el levantamiento de los datos se utilizó una estación total Topcon 7505, un equipo que estima de manera precisa las distancias y ángulos verticales. Este instrumento opera de manera óptica, emitiendo un rayo láser desde la estación hacia un prisma móvil para determinar las coordenadas y la elevación de cada punto topográfico con referencia al nivel del mar. Los perfiles topográficos fueron medidos desde el punto de origen de cada perfil (ubicado en la parte trasera de la playa) hasta alcanzar una profundidad máxima de -1,5 m respecto al nivel del mar, o hasta donde las condiciones del mar lo permitieron, siguiendo la metodología descrita por [Puleo et al., 2008](#).



El análisis multitemporal, fundamentado en la comparación de imágenes satelitales de diferentes fechas, se presenta como una estrategia para examinar los cambios espaciales de las zonas costeras a lo largo del tiempo. Para determinar la posición de la línea de costa, se analizaron imágenes de la plataforma Planetscope, obtenidas mensualmente entre noviembre de 2023 y noviembre de 2024, con una resolución espacial 3 m/px y 8 bandas espectrales.

El procesamiento de las imágenes se realizó mediante el cálculo del índice de Agua con Diferencia Normalizada -NDWI (1), con el objetivo de identificar las diferencias en las reflectancias y facilitar el trazado de la línea de costa (Figura 7.2). Los datos fueron digitalizados con

herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) y analizados utilizando la extensión DSAS (Digital Shoreline Analysis System), para calcular estadísticas relacionadas con la variación espacio-temporal de la línea de costa ([Thieler et al., 2009](#)).

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (1)$$

La validación de la técnica de sensoramiento remoto se efectuó a partir de un levantamiento de línea de costa in-situ, temporalmente simultáneo con la obtención de los perfiles topográficos. Para esta actividad, se empleó un equipo GNSS (Global Navigation Satellite System) de referencia Zenith35 Pro, operado en modo diferencial con levantamiento autónomo a frecuencia de 1 Hz.

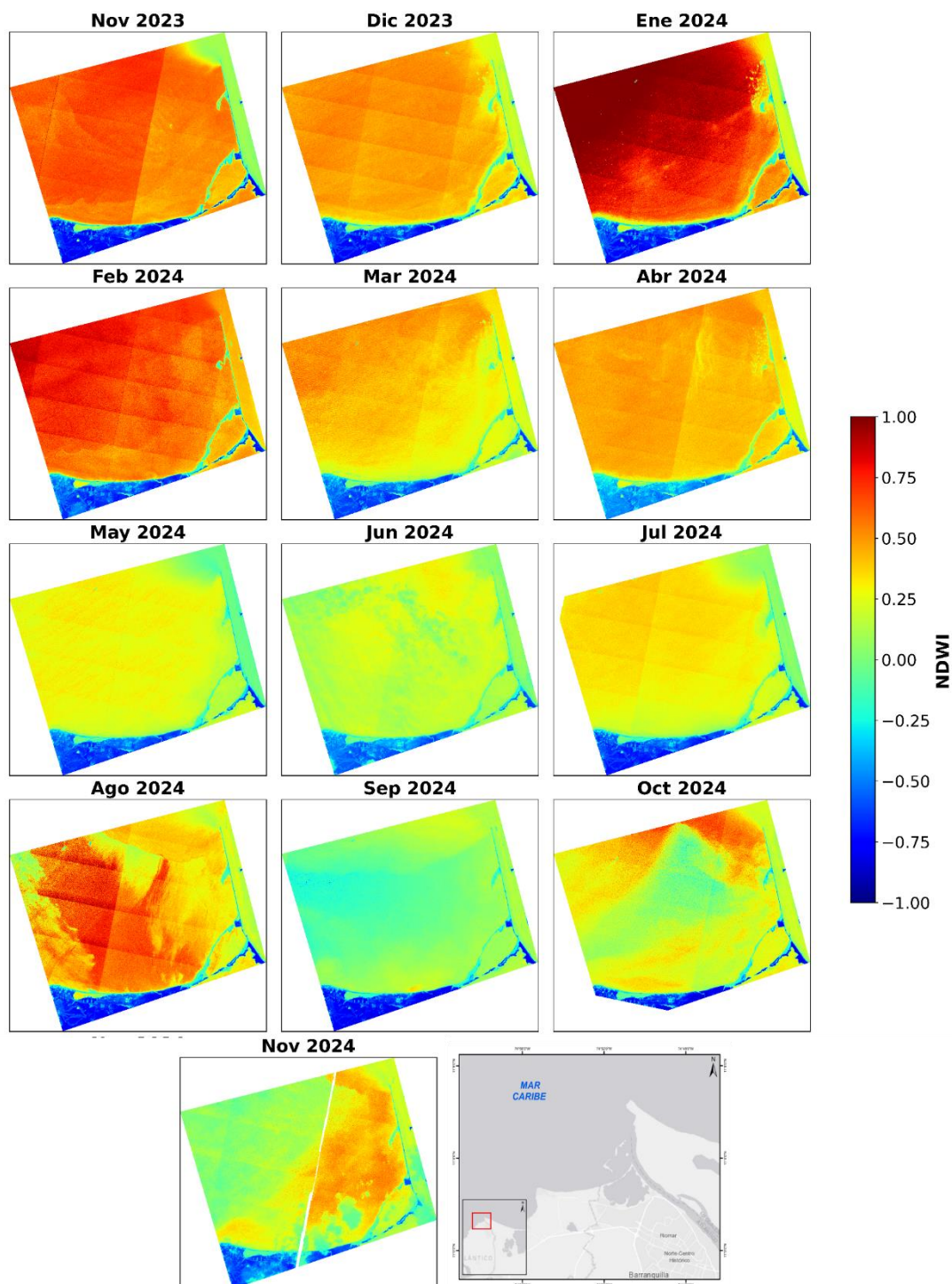


Figura 7.2. Cálculo del NDWI mensual entre noviembre 2023 y noviembre 2024 de la celda litoral entre Puerto Mocho y Punta Sabanilla.

Para la adquisición de información de datos con dron se realizó inicialmente la planificación del vuelo, delimitando el área de interés con base en los objetivos del estudio y configurando los parámetros de altura, traslape, resolución, entre otros (Tabla 7.1). Además, se consultaron las condiciones meteorológicas para la seguridad de la operación.

Tabla 7.1. Parámetros de levantamiento fotogramétrico en la barra de la Ciénaga de Mallorquín.

Fecha de vuelo	Modelo de dron	Sensor	N° de fotografías	Traslape lateral y frontal (%)	Altitud de vuelo (m)	Margen (m)	Resolución (cm/px)
25/09/2024	DJI Phantom 4 Pro V 2.0	1 "CMOS (RGB)	1392	70 / 80	100	25	2,79

Durante el levantamiento, el dron siguió rutas programadas mediante el software de planificación DroneDeploy. Las imágenes capturadas se revisaron en campo para garantizar la cobertura total del área y traslape adecuado para generación de productos. En la etapa del procesamiento, las imágenes se importaron para el proceso inicial de aerotringulación, lo que incluyó la alineación, optimización de las cámaras y la verificación de la calidad de las imágenes. Luego, se generó la nube de puntos densa aplicando técnicas de filtrado de profundidad. A partir de la nube de puntos se construyó una malla 3D y se generó el ortomosaico en el sistema de coordenadas WGS 84, Zona 18N. Los productos generados son insumos para el análisis de rasgos geomorfológicos y la identificación de alternativas en el área de estudio Figura 7.3.

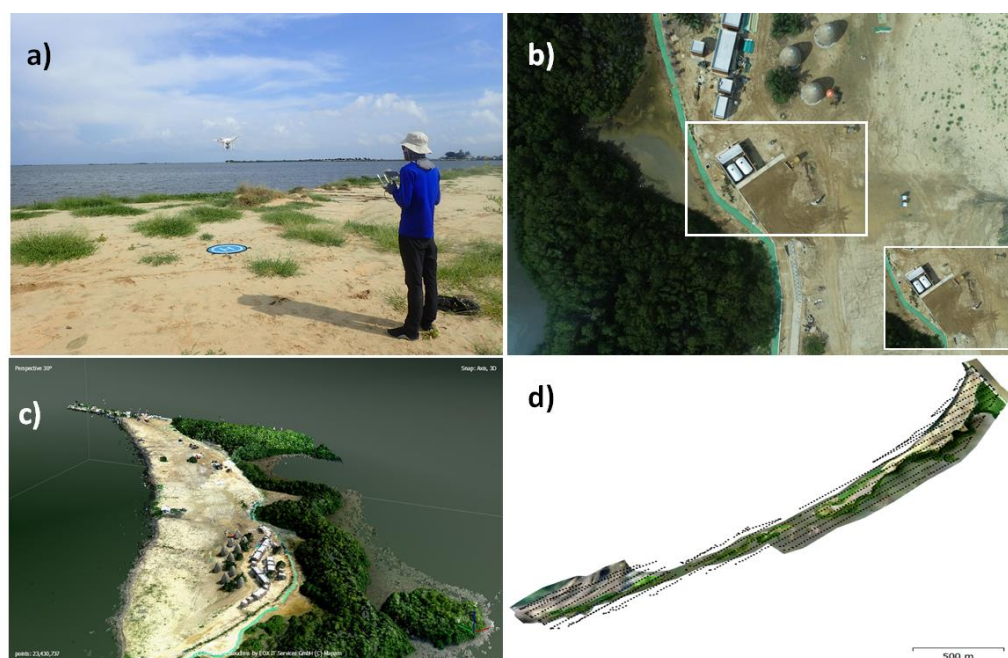


Figura 7.3. (a) Actividad de ejecución del levantamiento dron en campo. b) Fotografía aérea capturada durante el vuelo, mostrando detalles de resolución y cobertura espacial; c) Vista oblicua de la nube de puntos densa. d) Localización de las cámaras y visualización del ortomosaico.

Análisis de sedimentos

El muestreo sedimentológico se realizó en 5 transectos (PF1, PF2, PF5, PF7 y PF10) a lo largo de la zona costera de interés, en simultáneo con el levantamiento de los perfiles de playa. En cada uno de los transectos se tomaron tres puntos de muestreo, ubicados en las zonas fisiográficas de la playa (Figura 7.4). Para esta actividad se empleó una pala plástica y bolsas ziploc de almacenamiento. Posteriormente, dichas muestras fueron rotuladas y transportadas al Laboratorio de Instrumentación Marina – LABIMA para llevar a cabo el análisis de granulometría, mineralogía, calcimetría y materia orgánica.

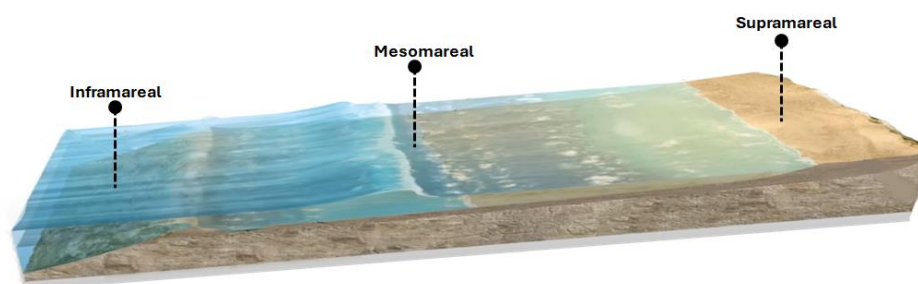


Figura 7.4. Esquema de muestreo sedimentológico.

Granulometría

El tamaño de grano de los sedimentos es una propiedad fundamental que condiciona la morfología litoral y los cambios en la línea de costa. Así mismo, proporciona información sobre los agentes hidrodinámicos, fuentes de sedimentos, condiciones de transporte y depositación. El análisis del tamaño de grano de las muestras se realizó empleando la técnica de granulometría por tamices. El procesamiento se realizará usando el programa GRADISTAT ([Blott y Kenneth, 2001](#)) y la aplicación SANDY®, herramienta de MATLAB desarrollada por ([Ruiz et al., 2016](#)), el cual calcula, basándose en Folk y Ward ([1957](#)), parámetros texturales como Media (M_z), Selección (σ_1), Asimetría (Sk_1), Kurtosis (KG), entre otros. Posteriormente, se realizarán diagramas bivariantes para observar distribución, cambios y comportamiento a lo largo de la zona de estudio.

Mineralogía

El conocimiento de la composición mineralógica de los sedimentos es esencial para la identificación de la fuente de procedencia; estos sedimentos se transforman por la acción de la energía del ambiente durante su transporte y su posterior sedimentación. Son fundamentales los análisis de composición y textura, ya que son la herramienta para la interpretación del origen, condiciones y condiciones evolutivas (erosión meteorización, transporte y sedimentación). La definición de la composición y la forma de los fragmentos minerales aportan información acerca de la historia genética de los sedimentos, la naturaleza de cada mineral determinara la roca

formadora y la resistencia de estos a procesos como la meteorización, erosión y el accionar del transporte.

El análisis se realizará por medio de la caracterización e identificación de los minerales existentes con la fracción granulométrica predominante, previamente seleccionada mediante el microscopio estereoscópico o lupa binocular.

Calcimetría

El contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) aporta información para la caracterización química y mineralógica de los sedimentos y condiciones ambientales, los niveles de carbonatos indican procesos químicos o bioquímicos presentes en la etapa de sedimentación. El análisis para la determinación de la cantidad de carbonato de calcio en una muestra de sedimentos se realizará a partir de la medición del volumen de dióxido de carbono producido por la reacción al contacto con ácido clorhídrico (HCl). La presión final de este gas es equivalente al % de calcita de la muestra de sedimento. Este método se utiliza para entender el índice del contenido aproximado de carbonato para apoyar la caracterización de suelos marinos ([ASTM-D4374-21](#)).

Para obtener la proporción en el laboratorio de carbonato de calcio de cada una de las muestras a estudiar, se procede a homogenizar y extraer entre 5 y 10 g de sedimento, dependiendo de la cantidad de carbonato visible de la misma. Una vez se pesa con la balanza analítica, se seca nuevamente en el horno BINDER a 105°C durante dos días para después ser macerada con un mortero de porcelana, colocadas en la botella del calcímetro digital FOGL y expuestas a ~ 2 ml de ácido clorhídrico en un sistema cerrado a presión y temperatura constante. Una vez ocurre la reacción, se calcula la cantidad de carbonato de acuerdo con el volumen de dióxido de carbono desprendido durante la reacción.

Materia orgánica

El contenido de la materia orgánica acumulada en los sedimentos representa las fluctuaciones o variaciones del contenido de oxígeno disuelto en la columna de agua, aporte continental, velocidad de sedimentación, niveles de preservación, y condiciones geológicas. La materia orgánica, aunque no es un mineral, es un constituyente base de los sedimentos, se caracteriza por su color marrón a negro en secciones profundas, y representa materiales húmicos resientes y bituminosos. El método que se realizará para el análisis de los sedimentos es el método por pérdida de ignición que se basa en la pérdida de peso en cada muestra de sedimento recolectada, en este procedimiento se somete una fracción (2 mm) homogénea de 5 g aproximadamente a $\sim 500^\circ\text{C}$ en la mufla durante 8 - 10 horas. Luego, se deja reposar en el desecador para absorber la humedad y se pesan los crisoles con la muestra calcinada para determinar, finalmente, el porcentaje de materia orgánica (MO) presente en el sedimento.

7.1.1.3 Identificación de alternativas de mitigación y talleres

Para abordar la identificación de medidas frente a la problemática de erosión costera en la Ciénaga de Mallorquín, se ha diseñado un enfoque que combina la revisión bibliográfica de estrategias de control previamente planteadas en relación con la protección costera y talleres participativos con las comunidades locales y expertos.

El desarrollo de los talleres se ha estructurado en cuatro etapas principales: (I) planificación, (II) ejecución, (III) recopilación de información (IV) e identificación de medidas de gestión adaptativa.

En la primera etapa, se incluyó la definición de los objetivos, la identificación estratégica de participantes clave y la logística necesaria para garantizar el desarrollo de las actividades. Durante la ejecución, se desarrollaron dos eventos principales: una mesa de diálogo con actores comunitarios el 30 de octubre y un conversatorio con expertos el 29 de noviembre. En la etapa de recopilación de información (III), se emplearon herramientas como cartografía participativa y plataformas digitales para fomentar la generación de ideas, utilizando metodologías como lluvia de ideas y creación de nubes de palabras, promoviendo el pensamiento creativo para abordar las problemáticas identificadas.

Finalmente, la información recopilada permitió identificar y priorizar, de manera colaborativa, posibles alternativas de solución enfocadas en la reducción, control y adaptación a la erosión costera en la Ciénaga de Mallorquín.

7.1.2 Seguimiento a la erosión costera y cambios geomorfológicos del departamento del Atlántico.

Estado del arte

La construcción del estado del arte se encuentra orientada en la compilación, análisis y sistematización de información y datos de investigaciones enfocadas en la erosión costera de la zona costera del departamento del Atlántico, para lo cual se utilizará la metodología propuesta por George, (2019), donde se identifican elementos comunes en el desarrollo de esta actividad investigativa tales como el surgimiento de la idea, el análisis bibliográfico y la articulación de resultados.

Con base a estos elementos se proponen cinco momentos para la elaboración del estado del arte, el primero propone la necesidad de establecer una toma de postura epistemológica, en el segundo se realiza la aproximación al objeto de estudio, en el tercero se elige un espacio temporal y se realiza la catalogación de fuentes bibliográficas, en el cuarto se establece la articulación entre ejes de análisis y tipos de investigación para definir las particularidades metodológicas e interpretativas del trabajo realizado por diferentes autores, y finalmente, en el quinto momento se sinterizan las coherencias teóricas que fundamentan el estado actual

científico. La Figura 7.5 resume la secuencia que se llevara a cabo en la construcción del esto del arte para la zona costera del departamento del Atlántico.

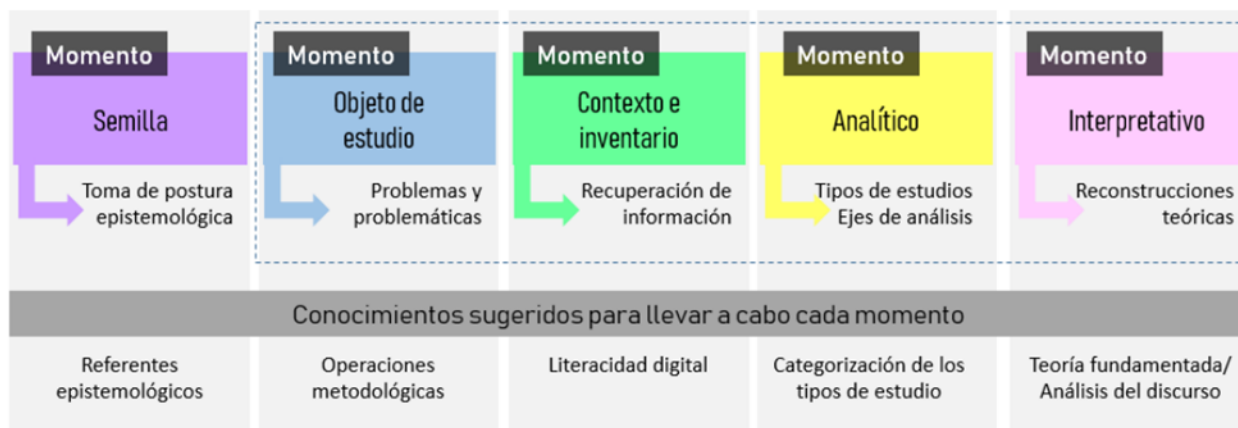


Figura 7.5. Estrategia para diseñar el estado del arte. Tomado de George, 2019.

Análisis de los cambios de la línea de costa del departamento

El análisis de los cambios en la línea de costa del departamento del Atlántico se desarrolló utilizando métodos enfocados en sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramientas claves para el monitoreo y estudio detallado de la dinámica costera en un periodo de tiempo. Esta metodología se estructura en cuatro fases principales:

1. Selección y adquisición de imágenes satelitales

Se seleccionaron imágenes satelitales obtenidas del sensor ópticos Landsat 8, que permiten monitorear los cambios en la línea de costa del departamento del Atlántico. El análisis cubrió un periodo de 10 años, desde 2013 hasta 2023, lo que facilitó un estudio multitemporal de la dinámica costera. Se definieron dos temporadas contrastantes (húmeda y seca) con el fin de comparar el comportamiento de la línea de costa y evaluar la influencia climática en las tasas de erosión. Para asegurar resultados precisos, se seleccionaron imágenes con una resolución espacial y temporal adecuada y que presentaran mínima o nula nubosidad ([González et al., 2018](#); [Saeed et al., 2016](#)).

2. Preprocesamiento de las imágenes

El preprocesamiento incluye la corrección geométrica y radiométrica de las imágenes satelitales, eliminando errores de distorsión y permitiendo su comparación en el tiempo ([Chuvieco, 2010](#)). Este paso es clave para garantizar que las imágenes estén alineadas espacialmente y listas para el análisis posterior.

- **Corrección atmosférica:** Uso de plugin SCP opción Atmospheric Correction for OLI 'Landsat' (ACOLITE).

3. Extracción automática de la línea de costa

Para la detección precisa de la línea de costa, se empleó el índice NDWI (1), facilita la separación de las áreas de agua y tierra, permitiendo una delineación clara de la línea de costa. Este método ha demostrado ser efectivo en estudios similares para el monitoreo costero y la detección de cambios en la línea de costa utilizando imágenes satelitales ([González et al., 2018](#); [Saeed et al., 2016](#)).

4. Análisis multitemporal y cuantificación del cambio

Una vez extraídas las líneas de costa correspondientes al periodo de definido, se procede a realizar un análisis multitemporal para evaluar los cambios. Para este propósito, se utilizó el software ArcGIS V.10.6, donde se incorporaron los parámetros relevantes y se aplicó la extensión DSAS (Digital Shoreline Analysis System). Se calcularon los parámetros estadísticos relacionados, que se describen a continuación ([Himmelstoss et al., 2021](#); [Thieler et al., 2009](#)):

- **Net Shoreline Movement (NSM):** Este parámetro representa el movimiento neto de la línea de costa, es decir, la distancia total de desplazamiento entre las diferentes líneas de costa analizadas.
- **End Point Rate (EPR):** Esta tasa de regresión se calcula dividiendo la distancia del desplazamiento de la línea de costa por el tiempo transcurrido entre la línea de costa más antigua y la más reciente.
- **Linear Regression Rate (LRR):** Esta tasa de regresión lineal se determina mediante un ajuste de mínimos cuadrados aplicado a todos los puntos de la costa de un transecto específico.

La extensión DSAS calculará los parámetros asociados al cambio en la línea de costa utilizando transectos ortogonales. A partir de estos transectos, se generarán estadísticas que consideren tanto los cambios espaciales como temporales de cada línea de costa.

Identificación de patrones emergentes, factores de influencia y posibles escenarios futuros en la evolución del litoral

La evaluación de la evolución del litoral busca analizar patrones emergentes, factores de influencia y posibles escenarios futuros que afectan su dinámica. Para ello, se aplicó el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) (2) desarrollado por el USGS (2022), la cual combina variables físicas

y ambientales como geomorfología, pendiente, tasa de erosión y nivel del mar. Este método facilita la identificación de áreas críticas y la proyección de cambios potenciales en el litoral, permitiendo diseñar estrategias efectivas de manejo y mitigación frente a los riesgos costeros.

$$CVI = \sqrt{\frac{A \times B \times C \times D \times E \times F \times G}{n}} \quad (2)$$

Este índice clasifica las variables en una escala de 1 a 5, permitiendo categorizar las zonas costeras en rangos de vulnerabilidad, desde muy baja hasta muy alta. Se utilizó información multi escalar abarcando un área de análisis de 1.037 ha y los resultados identifican sectores prioritarios para la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático. Se seleccionaron siete variables para el cálculo del IVC como se observa en la Tabla 7.2, conforme a las recomendaciones del USGS. Este sistema de ponderación (de 1 a 5) aplicado a las siete variables permite combinar sus valores en una ecuación que, en última instancia, produce el IVC (2).

Tabla 7.2. Indicadores de Vulnerabilidad Costera, metodología USGS, 2022.

Variable	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
	1	2	3	4	5
Altura del oleaje (m)	<0,75	0,75-1,24	1,25-1,59	1,6-2	>2
Nivel del mar (m)	< - 1	-1 – 0	0.1 – 2	2.1 – 4	> 4
Pendientes (°)	> 15	10 – 15	5 – 10	2 – 5	< 2
Geomorfología	Lomas y colinas	Acantilados altos	Acantilados medios, terrazas fluvio-marinas, llanuras costeras	Espigas, Barra litoral, acantilados bajos	Playas, ciénagas, marisma
Distancia a la costa (m)	> 400	1100 – 1399	820 – 1099	450 – 819	< 449
Tasas de erosión costera – LRR (m año ⁻¹)	> 2	1 – 2	-1 – 1	-1 – -2	< -2

Coberturas	Vegetación densa	Vegetación en cuerpos de agua	Pasto	Cuerpos de agua, cultivos, suelos desnudos	Áreas urbanas
------------	------------------	-------------------------------	-------	--	---------------

7.2 RESULTADOS

7.2.1 Alternativa de solución híbrida basada en la naturaleza

7.2.1.1 Análisis de variables oceanográficas y atmosféricas.

La tendencia de la precipitación es bimodal, a lo largo de todo el departamento se registran dos periodos de precipitación; siendo las más bajas las que se asocian con los meses de abril-mayo y el pico máximo en septiembre-octubre; en contraste, los valores mínimos se registran en la temporada de sequía máxima, marcadamente en los primeros meses del año (Figura 7.6). Existe una variación de la precipitación respecto si es un año neutro o si se encuentra bajo la influencia del fenómeno El Niño o La Niña ([Montealegre J y J. Pabon. 2000](#)). Los efectos de El Niño se acentúan en las épocas de sequía, durante los primeros meses del año, con reducciones significativas en la precipitación ([Poveda, 2004](#)). De manera particular, para el periodo analizado se registró que el año 2022 registró precipitaciones considerablemente mayores que para el año 2023, lo cual estuvo asociado al periodo de La Niña prolongado (2020-2022).

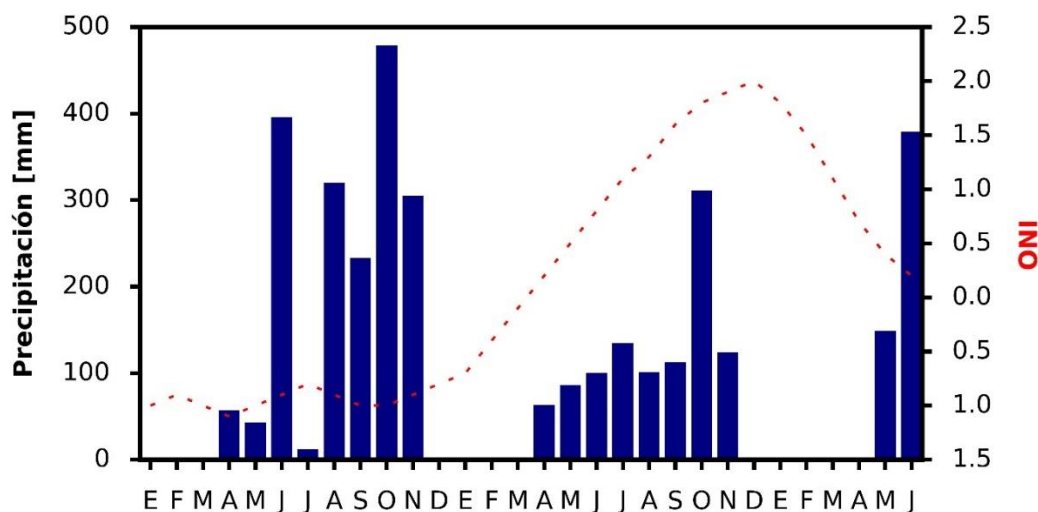


Figura 7.6. Precipitación mensual acumulada para los años 2022, 2023 y 2024.

La magnitud del viento, al igual que las precipitaciones, presentan un comportamiento bimodal, determinado por las oscilaciones del sistema de alta presión de las Azores y las fluctuaciones de la ZCIT ([Devis-Morales et al., 2017](#)), presentando en época seca las mayores velocidades del año, que de acuerdo con los registros encontrados en IDEAM 2014, en la costa estas magnitudes no superan los 6 m/s. Mientras que los registros encontrados para la zona oceánica (Figura 7.7), se encuentran valores alrededor de los 9 m/s. Para la época húmeda, se presentan las menores magnitudes.

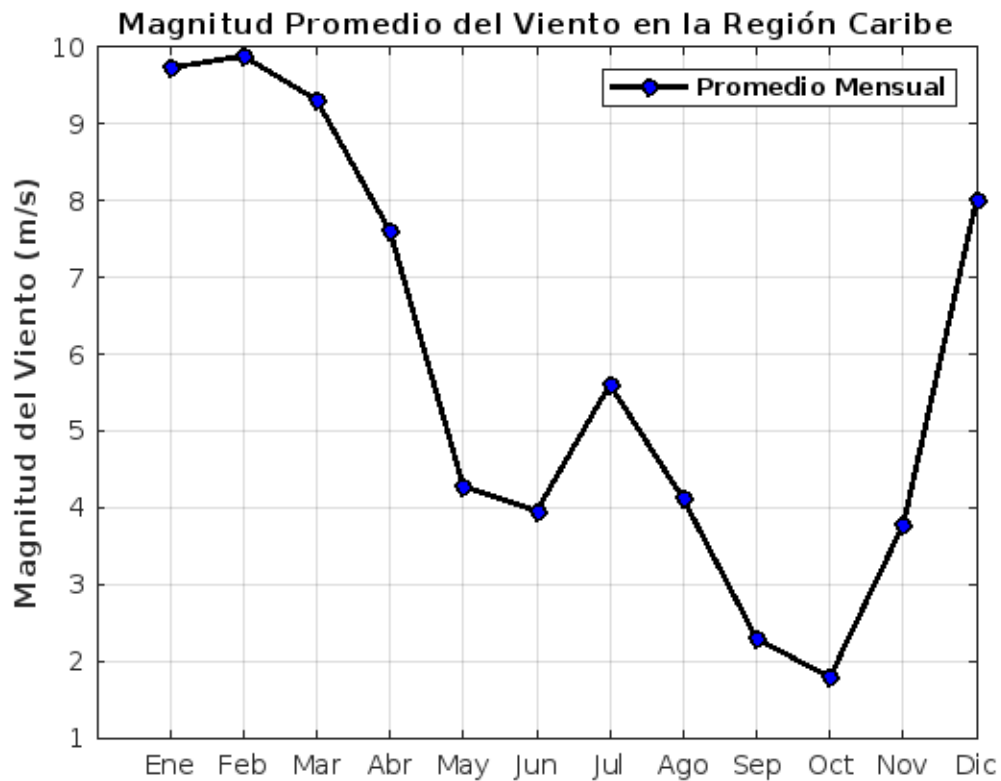


Figura 7.7. Magnitud promedio del viento en la región Caribe

Para el comportamiento medio del oleaje (Figura 7.8), se registró que, tanto de altura de ola significativa (H_s) (escala de colores) como la dirección predominante (flechas), para la época seca que la altura de ola significativa es mayor, presentando un rango entre los 2,5 m en zonas oceánicas, con una dirección predominante del Noreste. Estas alturas se encuentran relacionadas con la época de mayores vientos (diciembre-marzo).

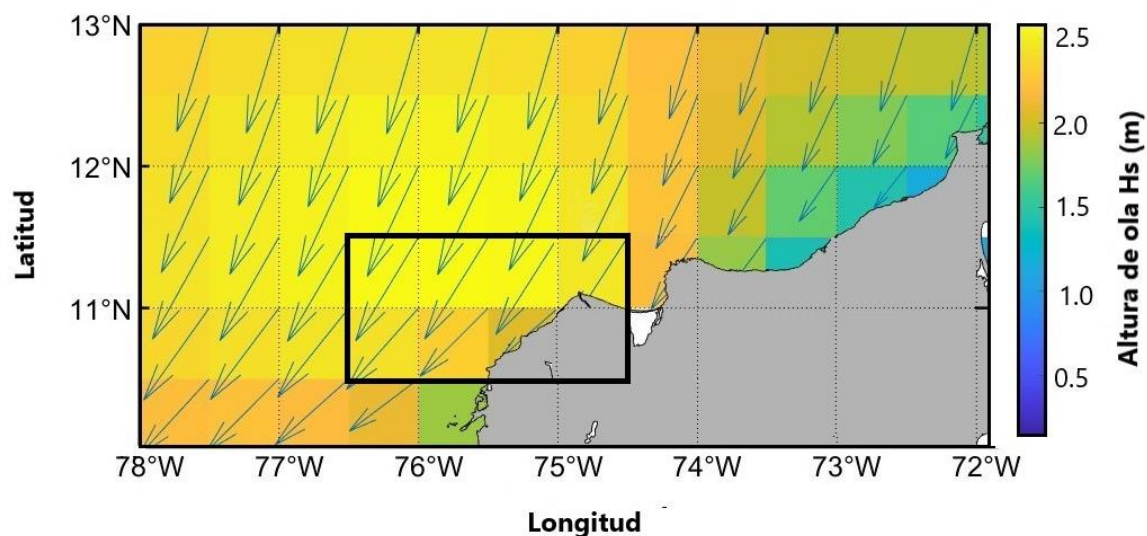


Figura 7.8. Promedio en época seca de la altura significativa y dirección predominante.

Mientras que en la época húmeda (Figura 7.9), se observa una disminución en la altura de ola, con valores no superiores a los 1,5 m en la zona oceánica. Esta variación estacional corresponde a lo encontrado por otros autores, donde las condiciones de mayor energía se dan de noviembre a julio, y las alturas de las olas pueden superar los 2, mientras los valores más bajos se presentan entre agosto y octubre ([Restrepo et al, 2012](#)).

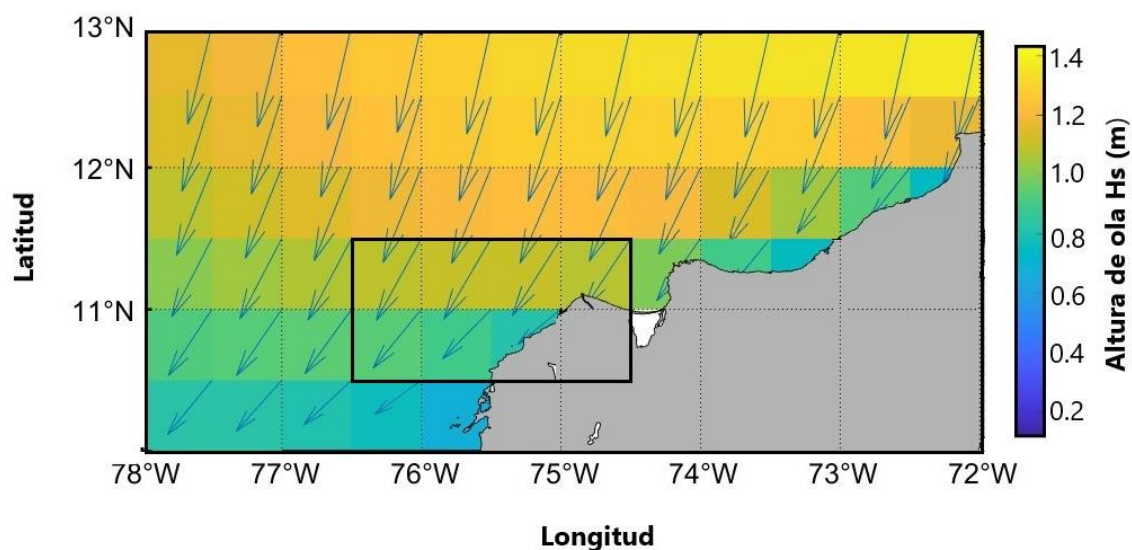


Figura 7.9. Promedio en época húmeda de la altura significativa y dirección predominante.

En general, el patrón climático de la región en la se ve influenciado por los movimientos de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), lo que genera dos estaciones principales: seca y lluviosa. Durante la época seca, los vientos Alisios del noreste provocan un oleaje más fuerte en la zona oceánica (2 m), mientras que, en la época lluviosa, con vientos más débiles, el oleaje disminuye (0,8 m) ([Osorio et al., 2009](#); [Orejarena-Rondón et al., 2015](#); [Ferrucho-Maloof et al., 2022](#)).

7.2.1.2 *Análisis de la morfología costera*

Análisis perfiles de playa

La morfología de los perfiles topográficos de playa entre la barra de la ciénaga Mallorquín y Punta Sabanilla evidencian una diversidad de características que reflejan las condiciones locales en términos morfológicos e hidrodinámicos a lo largo de la celda litoral del área de estudio (Figura 7.11). Los perfiles PF01 y PF02 – La Barra, se midieron sobre la barra de la ciénaga Mallorquín, mostrando un cambio en la topografía entre los costados este y oeste de la geoforma (Figura 7.1). PF01 tiene una pendiente más uniforme, mientras que PF02 presenta una elevación en la porción emergida. PF02, ubicado en una de las bocas que conectan al sistema lagunar con el mar Caribe, se encuentra en una zona donde hay manglar y áreas inundables en la parte trasera.

El perfil PF04-La Barra se localiza en la zona de influencia de la flecha litoral, presentando características de terrenos bajos y propensos a inundaciones. El perfil tiene una pendiente irregular con picos en el área emergida, relacionados con dunas embrionarias. El perfil PF05-Brazo Arroyo León, presenta una morfología de baja pendiente ($1,2^\circ$) y amplitud reducida, características típicas de áreas afectadas por procesos erosivos severos y ausencia de depósitos de sedimentos. El perfil PF06-Desembocadura Arroyo León, tiene una pendiente promedio de $3,5^\circ$ (Figura 7.10). El cambio más pronunciado se observa a 10 m de distancia a partir de la base del perfil, entre la transición del perfil emergido al sumergido, generando un talud de ~1,6 metros (Figura 7.11e). Este perfil indica procesos erosivos severos asociados a la acción del oleaje y los drenajes continentales.

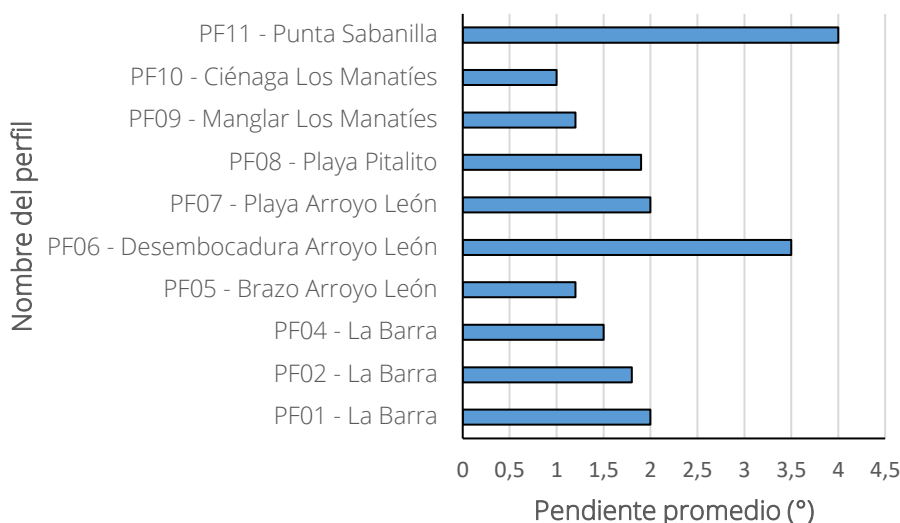


Figura 7.10. Pendiente media de los perfiles de playa entre la barra de la ciénaga Mallorquín y Punta Sabanilla.

Los perfiles PF07- Playa Arroyo León, PF08 – Playa Pitalito y PF09 - Manglar Los Manatíes limitan en su parte posterior con áreas bajas e inundables, caracterizadas por la presencia de manglar muerto. Al analizar estos perfiles hacia la línea de costa, se observa una variación en la amplitud de la playa, lo que indica la influencia de procesos de transporte litoral (Figura 7.11f, g, h).

El perfil PF10 – Ciénaga Los Manatíes, localizado en la barra que separa la ciénaga Los Manatíes del mar, presenta una morfología de pendiente de 1° y un frente de playa definido, características propias de playas disipativas (Figura 7.11i). Finalmente, el perfil PF11-Punta Sabanilla, medido en la zona de acantilados de Punta Sabanilla, representa una morfología típica de zonas costeras de alta energía, caracterizada por un acantilado con un pendiente promedio pronunciada ($>4^\circ$) que alcanza los 5,5 metros en sus primeros 10 metros de distancia, seguido de una transición suave hacia una playa de 15 metros de extensión.

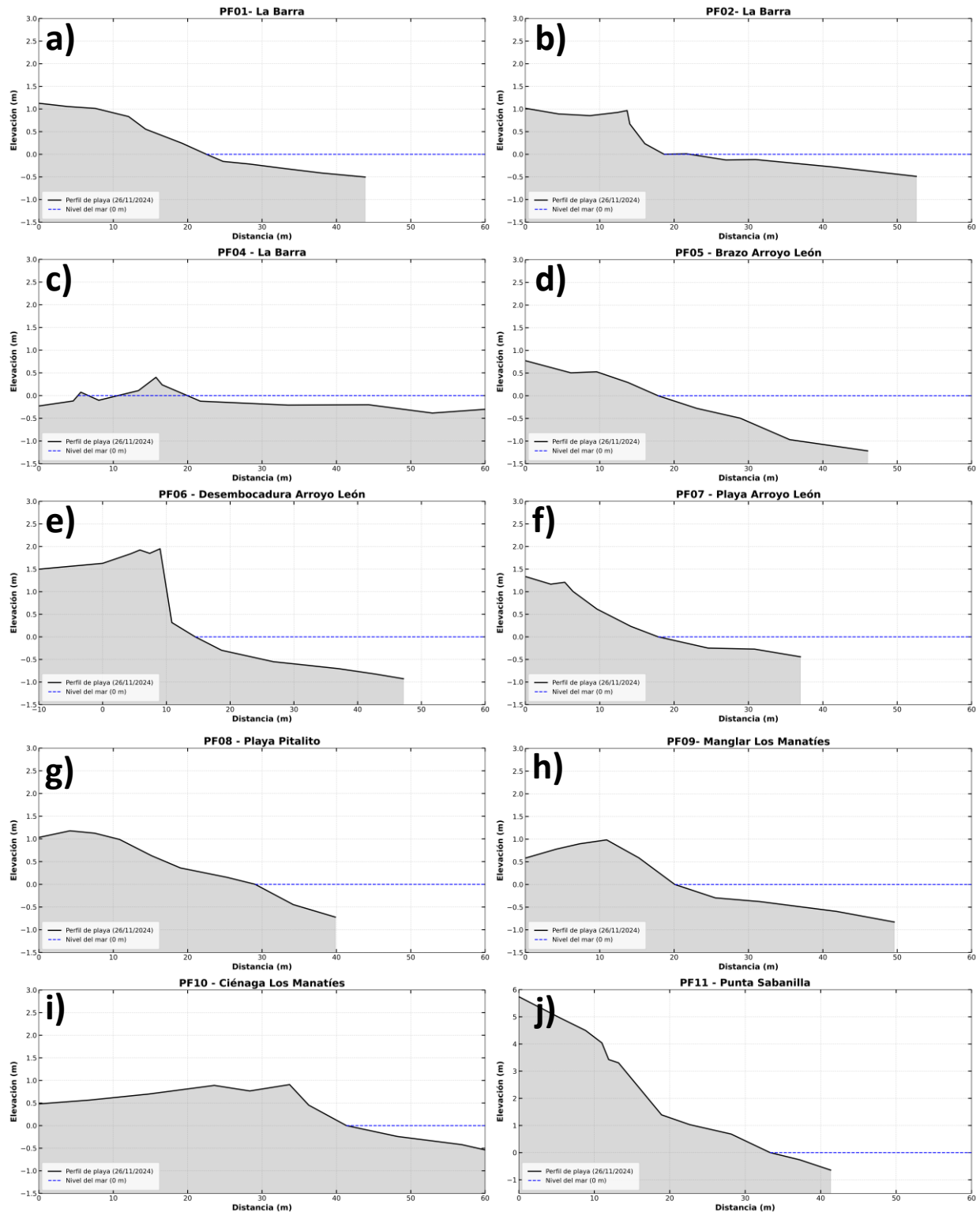


Figura 7.11. Perfiles topográficos de playa levantados entre la barra de la ciénaga Mallorquín y Punta Sabanilla.

Análisis de la línea de costa de la barra

Para el seguimiento a la erosión costera se calcularon las tasas de erosión a lo largo de la línea de costa entre la Ciénaga de Mallorquín y Punta Sabanilla (noviembre de 2023 y noviembre de 2024). En la espiga litoral que protege la ciénaga, se registraron valores de cambio por acreción $>100 \text{ m año}^{-1}$, los cuales están relacionados con la dinámica morfológica en el punto de conexión entre esta geoforma y la barra litoral en la parte suroeste. Sin embargo, en la parte media y norte de la espiga, se observan valores entre $-0,95 \text{ m año}^{-1}$ a -295 m año^{-1} asociados a erosión. De acuerdo, a los resultados obtenidos la espiga presentó una tendencia a los procesos erosivos, marcado por un promedio general de -17 m año^{-1} (Figura 7.12).

En la barra litoral frente a la ciénaga Mallorquín, se identificaron cambios de la costa en la parte oeste, los cuales tienen relación con la dinámica morfológica originada por el intercambio hídrico y sedimentológico a través de las conexiones internas del cuerpo de agua. En esta área se presenta dualidad de procesos de erosión y acreción, lo que sugiere relación con la distribución de sedimentos durante las temporadas climáticas. En la geoforma los valores de erosión alcanzaron magnitudes entre $-0,11 \text{ m año}^{-1}$ a -14 m año^{-1} , los máximos asociados a la parte suroeste donde se presentan rasgos como escarpes erosivos. La tendencia general es a los procesos erosivos, con un promedio de -2 m año^{-1} , indicativo de un menor dinamismo geomorfológico con respecto a la espiga (Figura 7.13).

Por último, a lo largo de la línea de costa entre la ciénaga Mallorquín (oeste) y Punta Sabanilla, predominan los procesos de erosión con tasas entre $-0,5 \text{ m año}^{-1}$ a -45 m año^{-1} , las cuales se acentúan hacia la costa contigua a la desembocadura del arroyo León y decrecen en dirección a la ciénaga Manatíes. En contraste, en la playa de Punta Sabanilla se registraron procesos de acreción con tasas de hasta 23 m año^{-1} , indicativos de la dinámica del transporte de sedimentos sobre esta Punta. En general, la línea de costa presenta una tendencia a la erosión costera, registrando una tasa promedio de -9 m año^{-1} (Figura 7.14).

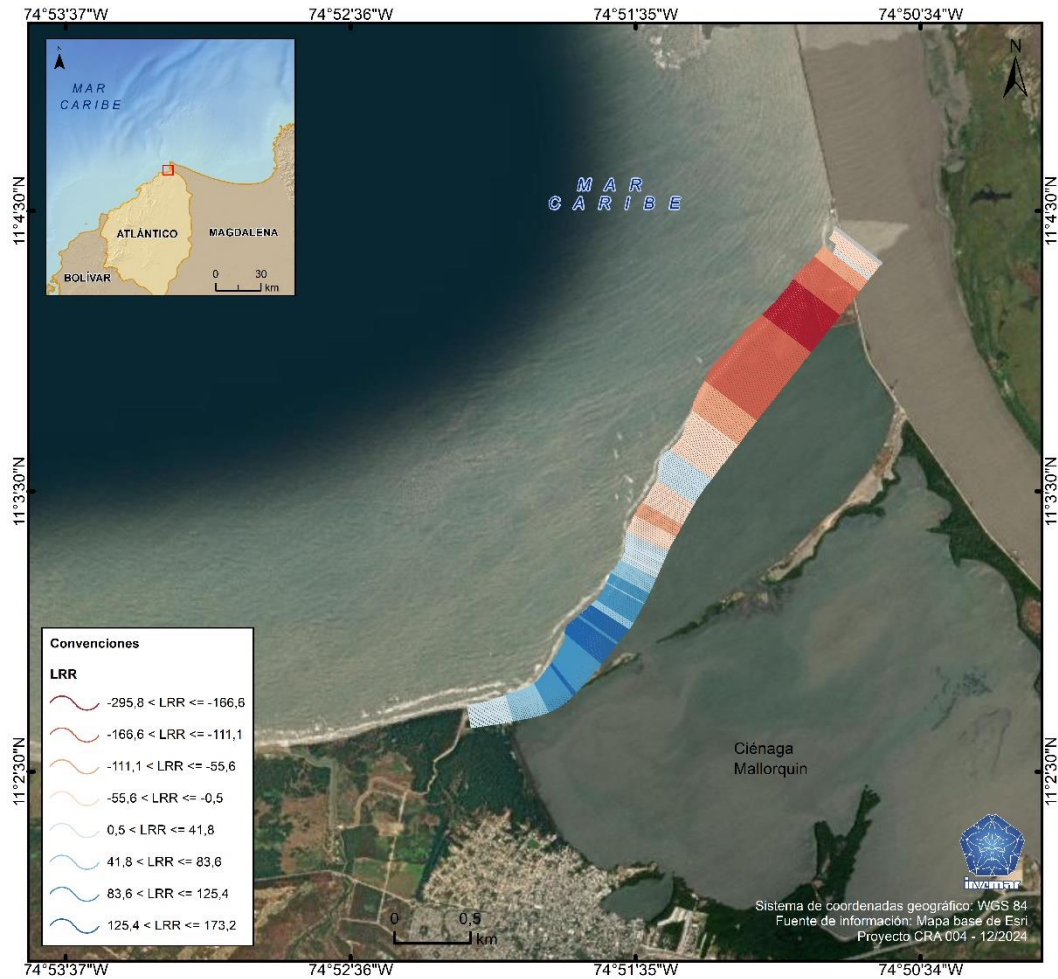


Figura 7.12. Resultados del seguimiento a la erosión costera de la espiga litoral que protege la ciénaga Mallorquín.

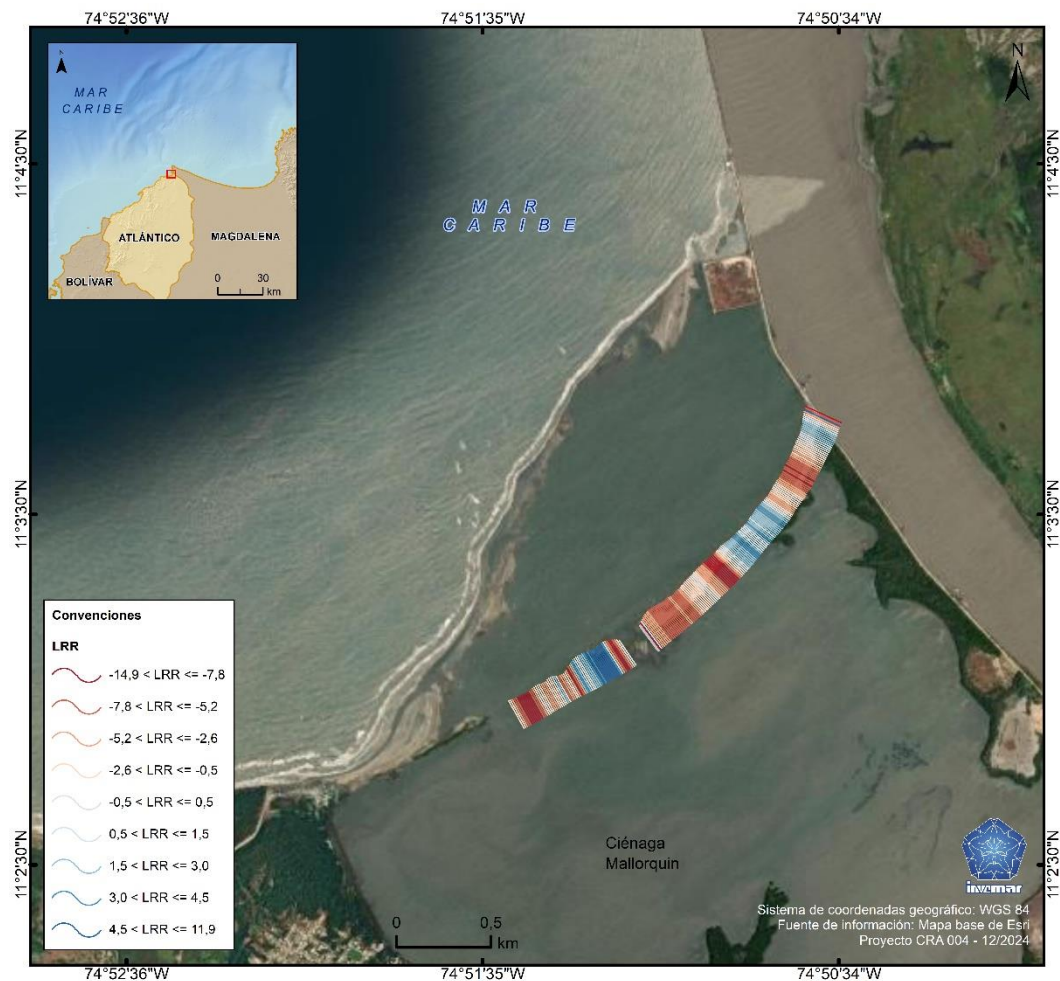


Figura 7.13. Resultados del seguimiento a la erosión costera de la barra litoral de la ciénaga Mallorquín.



Figura 7.14. Resultados del seguimiento a la erosión costera entre el arroyo León y Punta Sabanilla.

La Figura 7.15 presenta el ortomosaico generado a partir de imágenes capturadas con dron en la barra de la ciénaga de Mallorcaín. En el sector occidental se destaca un sistema de dunas cubierto por vegetación herbácea, el cual desempeña un papel crucial en la dinámica sedimentaria y en la protección frente a la erosión costera. Este sistema dunar, caracterizado por la acumulación de arena moldeada por la acción del viento, se encuentra alineado paralelamente a la costa y se extiende a lo largo de aproximadamente 570 metros hacia la espiga litoral (Figura 7.15a).

En la Figura 7.16a se observa la estructura de las dunas con una cobertura vegetal parcial, lo que indica cierto grado de estabilización. Los perfiles topográficos (Figura 7.16b y 16c) muestran ondulaciones con alturas máximas de ~0,5 metros, que funcionan como reservorios de arena clave para la protección natural frente a eventos extremos.

El perfil PF1, orientado paralelo a la línea de costa, presenta un relieve más suave y menor frecuencia de crestas, sugiriendo un estado más estabilizado. Por otro lado, el perfil PF2 muestra una alternancia marcada entre crestas y valles, lo que indica la influencia de una dinámica eólica más activa en esa dirección.

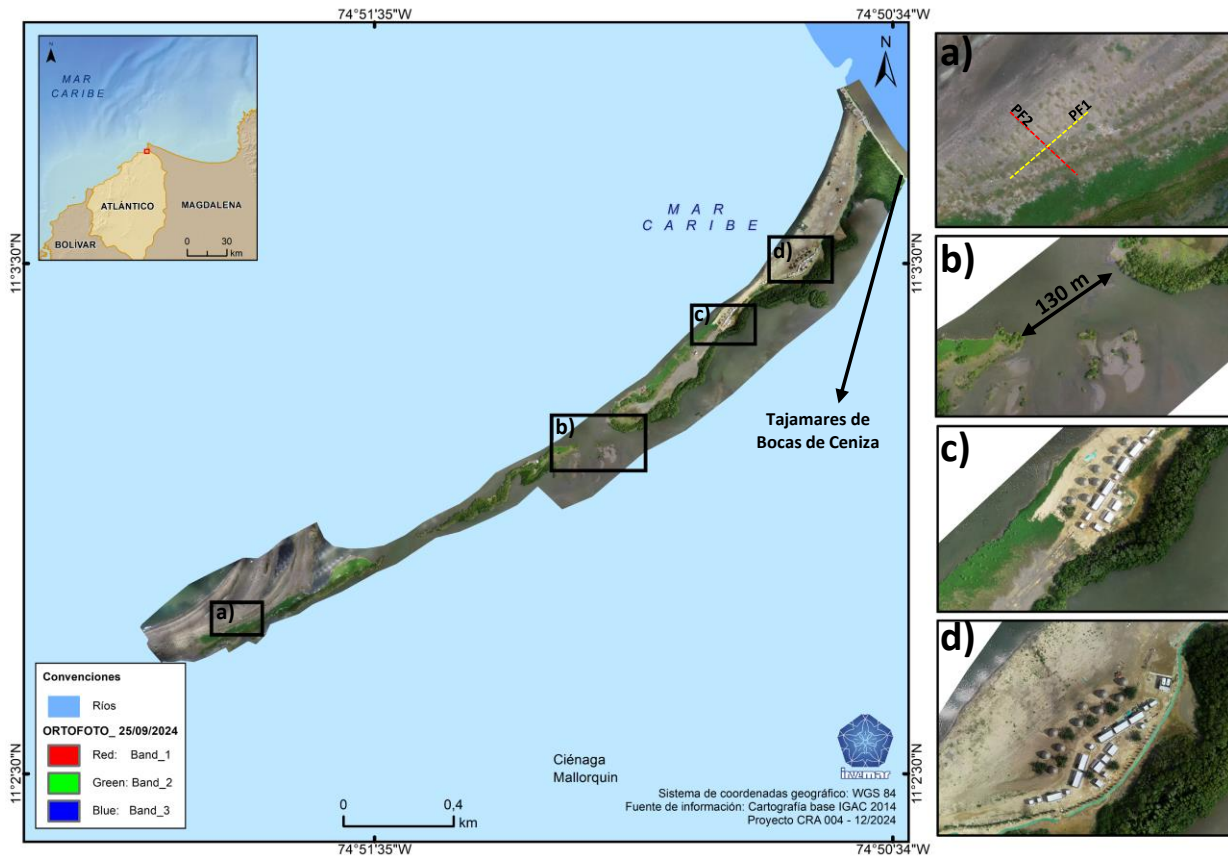


Figura 7.15. Ortofoto de la barra en la ciénaga de la Mallorquín (25/09/2024) con la identificación de rasgos geomorfológicos y antrópicos, incluyendo (a) sistema de dunas costeras. (b) fragmentación de la barra. (c) y (d) desarrollo de infraestructura y cambios en la coloración de sedimentos.

En la Figura 7.15b, se identificó un sector donde la barra muestra fragmentación, con un canal de aproximadamente 130 m de ancho que conecta la ciénaga de Mallorquín con el mar Caribe, evidenciando la interacción entre los procesos costeros y el humedal. En el recuadro de la Figura 7.15c, se identificó el desarrollo de infraestructura turística y cambio en la coloración de los sedimentos, asociados con actividades de relleno de playa. Por último, en el recuadro Figura 7.15d, se registraron intervenciones antrópicas asociadas a la construcción y estabilización del terreno.

En general, el sistema litoral combina vegetación herbácea, arbustiva y cobertura de manglar que predomina en el paisaje costero de la porción occidental, caracterizado por un estado

relativamente natural. En contraste, el extremo oriental evidencia una mayor intervención antrópica.

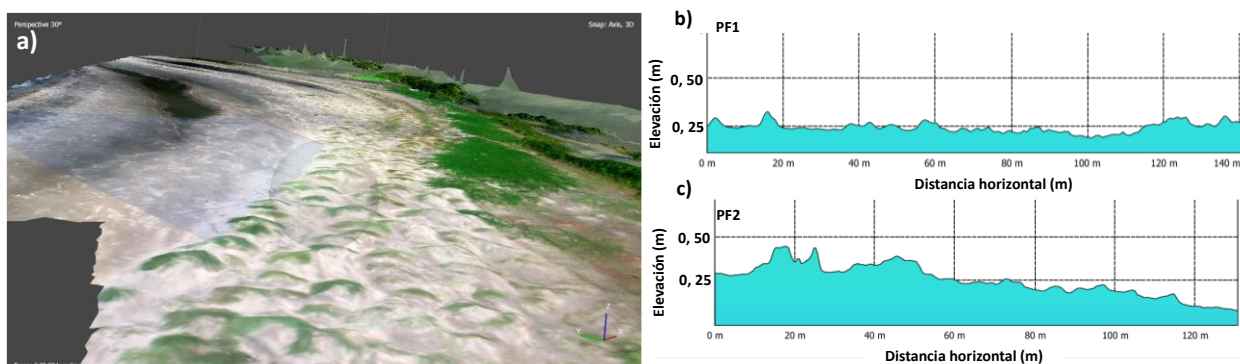


Figura 7.16. a) vista oblicua del sistema de dunas. (b) perfil topográfico paralelo a la costa. (c) perfil topográfico transversal a la costa. La ubicación de los perfiles en el recuadro a de la Figura 7.15.

Análisis de sedimentos

Granulometría

Con base en los resultados obtenidos del tamizado de los sedimentos recolectados entre la ciénaga de Mallorquín y Punta Sabanilla. Se realizó su representación en el triángulo de clasificación textural de Folk (1954). Los datos se ubicaron en la parte inferior derecha del diagrama, lo que indica un predominio de las fracciones de arena, con menor proporción de arena gravosa y arena levemente gravosa (Figura 7.17).

En la zona supramareal, los sedimentos presentan tamaños dominantes de arena fina (77,4%), con una selección moderada a muy buena y una distribución muy leptocúrtica. La tendencia simétrica observada sugiere un ambiente con transporte constante.

En la zona mesomareal, se observa que la mayoría de los sedimentos corresponden a arena fina (82,4%), excepto la muestra PF7-MESO, que contiene arena gravosa con una selección pobre y una tendencia hacia partículas más gruesas. En general, los sedimentos de esta zona oscilan entre moderadamente seleccionados y moderadamente bien seleccionados, con una distribución leptocúrtica y simétrica.

En la zona inframareal, predominan tamaños de grano de arena fina (64,2%) y arena levemente gravosa (23,7%). Los sedimentos de esta zona varían entre moderadamente seleccionados y moderadamente bien seleccionados, con una distribución muy leptocúrtica. A diferencia de las otras zonas, los sedimentos presentan una distribución con tendencia hacia partículas más gruesas.

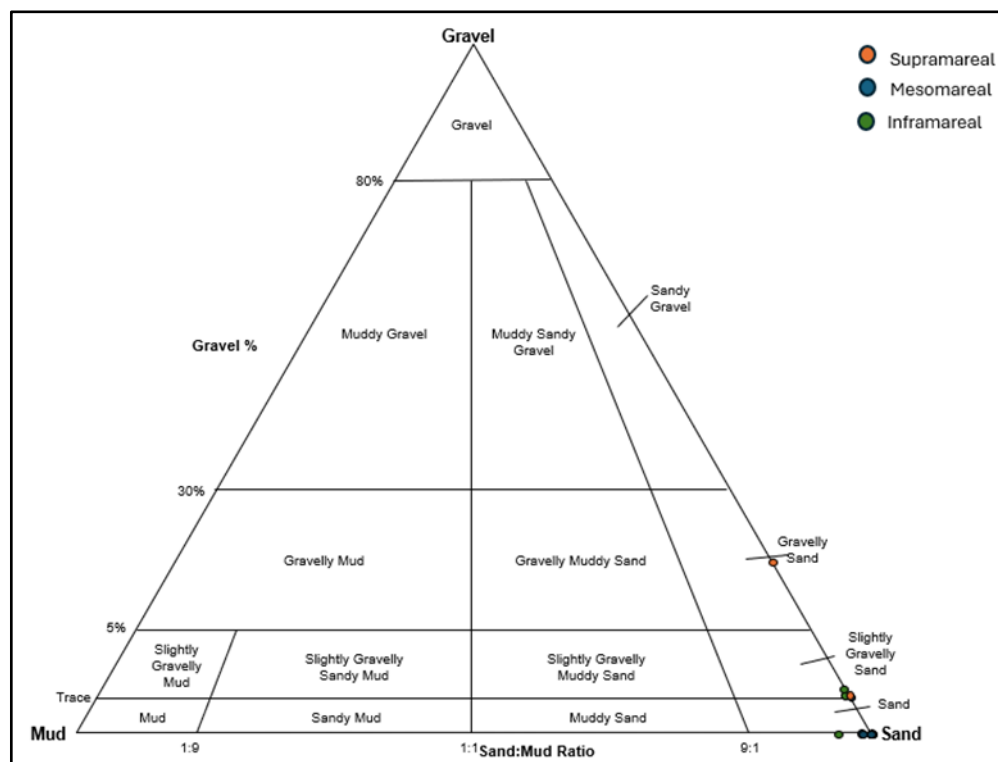


Figura 7.17. Clasificación textural (Folk, 1954) para las muestras de las zonas supramareal, mesomareal e inframareal.

La relación entre tamaño de grano vs. clasificación (Figura 7.18a) refleja que la mayoría de las muestras se encontraron en un rango de bien clasificado a moderadamente clasificado, con tamaños de grano entre arena fina y media durante la época de muestreo. Una clasificación moderada de los sedimentos, junto con la predominancia de arenas finas a medias, sugiere que estos materiales han experimentado procesos importantes de transporte desde sus áreas de origen. Esto promueve una mayor uniformidad en el tamaño y redondez de las partículas, dado que la granulometría y la morfología de los granos están influenciadas por la abrasión durante el transporte (González y Milán, 2016)

La selección vs asimetría (Figura 7.18b) muestra que la mayoría de los sedimentos se encuentran de moderadamente a bien clasificados con una distribución entre asimetría hacia los gruesos, simétricos y hacia los finos. Esto puede indicar un ambiente de depósito estable con procesos de energía moderada.

La asimetría vs curtosis (Figura 7.18c) muestra que los sedimentos analizados tienen una distribución asimétrica y presentan una curtosis muy leptocúrtica a mesocúrtica. Esto podría estar relacionado con un ambiente de depósito estable, donde la energía del medio es

moderada. Los puntos alejados de esta clasificación podrían indicar eventos de alta energía o zonas con procesos distintos.

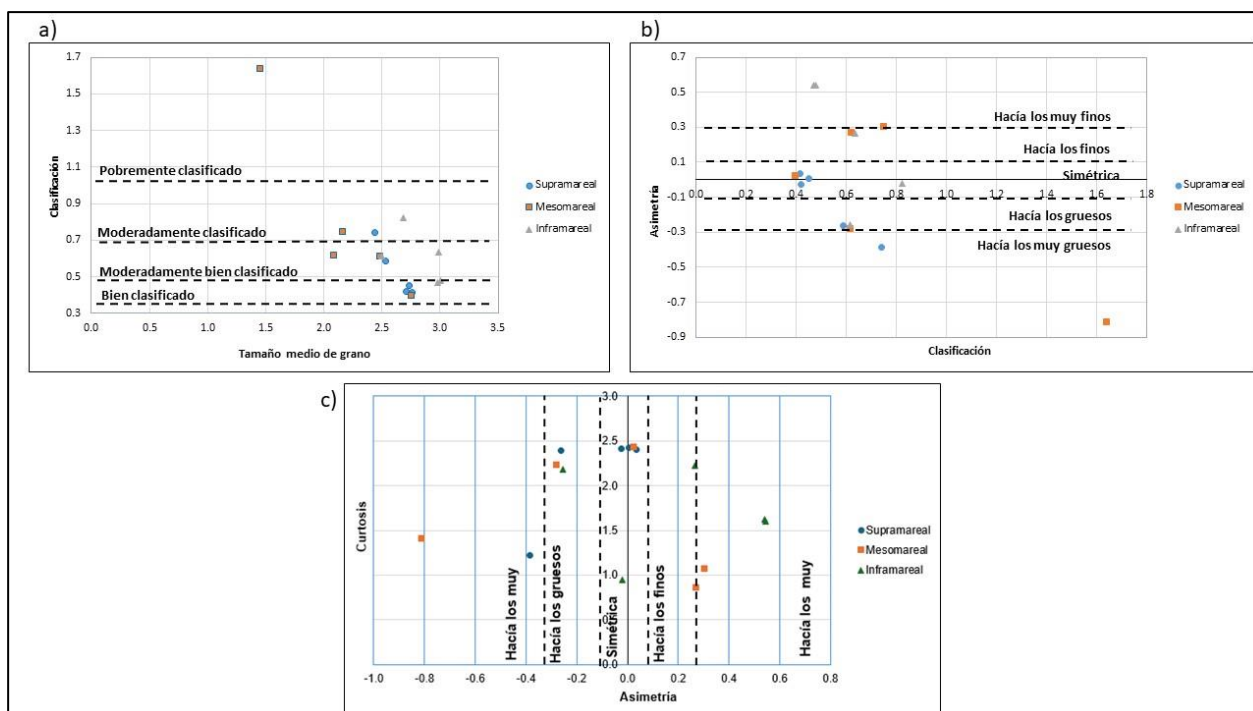


Figura 7.18. Diagramas bivalentes de sedimentos a) tamaño de grano vs. selección; b) selección vs. asimetría; c) asimetría vs. curtosis.

Mineralogía

Los sedimentos de las muestras extraídas de la ciénaga de Mallorquín están compuestos principalmente por cuarzo (>50%), feldespatos (~15%), fragmentos líticos (~13%), minerales máficos (>10%) y, en menor proporción, micas (~5%). También se encuentran minerales magnéticos (~10%) y, en cantidades aún más bajas, carbonatos y material biogénico y orgánico (<5%). Los minerales accesorios están representados principalmente por minerales pesados, como epidotas, circones y turmalinas. Los fragmentos líticos constituyen aproximadamente el 10% del sedimento en conjunto. En cuanto a las partículas biogénicas, estas son muy escasas (~1%), al igual que los carbonatos, los cuales se presentan principalmente como conchas desarticuladas de bivalvos mayores a 1 mm y, de manera esporádica, fragmentos calcáreos de conchas más grandes.

Con base en su composición, todas las muestras podrían clasificarse como arcosas, y en algunos casos, como arcosas líticas, cuando el contenido de fragmentos líticos se encuentra entre el 50% y el 70%. No se observa una diferencia significativa entre las muestras de los sedimentos analizados. Sin embargo, en las muestras P2-MESO y SF7, tomadas de las zonas SUPRA e INFRA,

se hallaron valores elevados de minerales magnéticos, especialmente de magnetita y hematita (>15%).

En las muestras analizadas se distinguen los siguientes minerales.

- Cuarzo: Se distinguieron cuarzos cristalinos y cuarzos lechosos, algunos de los cuales presentan inclusiones.
- Ferromagnesianos: Se identificaron anfíboles y piroxenos de color negro, con formas tabulares subprismáticas.
- Feldespatos: Se detectó una abundante cantidad de plagioclasa, con presencia ocasional de feldespatos potásicos.
- Líticos: Se observaron fragmentos líticos de rocas ígneas. También se encontraron líticos metamórficos, como esquistos verdes. En menor proporción, se identificaron fragmentos rojizos y negros, probablemente lodolitas.
- Minerales accesorios: Se identificaron turmalina y minerales pesados, como circones de diferentes colores (incolores, rosados y amarillos).
- Micas: Se identificaron mica moscovita en poco porcentaje. Con una presencia marcada en la muestra PF5-INFRA.
- Partículas biogénicas y orgánicas: De manera esporádica, se reportó la presencia de restos calcáreos de bivalvos, tanto completos y desarticulados como fragmentados. Se presentaron restos de hojas y tallos en una mínima cantidad.
- Minerales magnéticos: La presencia de minerales magnéticos está dada por magnetita y hematita.
- Carbonatos: Los carbonatos fueron asociados principalmente a partículas biogénicas.

Calcimetría

Los análisis realizados para determinar el contenido de carbonatos en los sedimentos recolectados en la ciénaga de Mallorquín (Figura 7.19) revelaron que el porcentaje de CaCO_3 es inferior al 1% en la mayoría de las zonas, excepto en la muestra PF7, donde se registraron valores máximos de hasta 7,34%.

En las muestras P1, P2 y PF10, los valores obtenidos para las tres zonas (supra, meso e infra) fueron consistentemente menores al 1%. Esto sugiere que los sedimentos predominantes en estas áreas son siliciclásticos, característicos de zonas con una baja tasa de deposición de carbonatos.

Por otro lado, en las muestras PF5 y PF7 se identificaron los contenidos más altos de CaCO_3 . En particular, la muestra PF7 presentó el mayor aporte de carbonatos, con porcentajes que oscilan entre 1,81% y 7,34%, siendo la zona mesomareal la que mostró el mayor porcentaje. Estos

valores elevados indican un ambiente con una actividad biológica significativa, que contribuye a la acumulación de carbonatos.

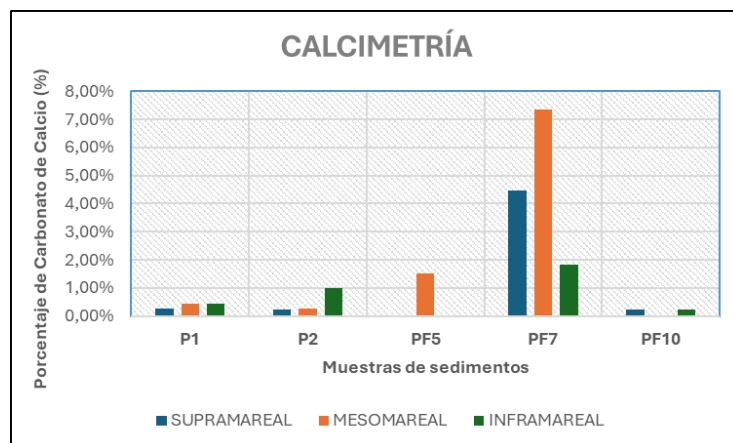


Figura 7.19. Porcentajes de carbonato de calcio en las muestras recolectadas en las zonas supramareal, mesomareal e inframareal.

Materia orgánica

Los análisis realizados en los sedimentos de las zonas supramareal, mesomareal e inframareal de la ciénaga de Mallorquín muestran un rango de contenido de materia orgánica entre 0,1% y 2,1% (Figura 7.20). En la muestra P2, ubicada en la zona mesomareal, se reporta un porcentaje de 0,1%, mientras que en la muestra PF7, en la zona supramareal, el valor es de 0,2%, ambos siendo los más bajos en términos de contenido de materia orgánica. Por otro lado, la muestra PF5 presenta los valores más altos de materia orgánica, alcanzando un máximo de 2,1% en la zona inframareal. Este valor sugiere la presencia de un ambiente estuarino o de playa con una productividad biológica moderada, o bien la influencia de una fuente cercana de material orgánico.

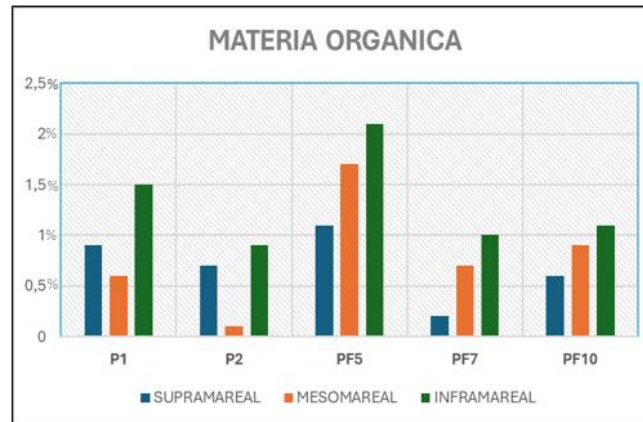


Figura 7.20. Porcentajes de materia orgánica en las muestras recolectadas en las zonas supramareal, mesomareal e inframareal.

7.2.1.3 Identificación de medidas de control y talleres

Los talleres con actores comunitarios y expertos, permitieron a partir de los espacios de diálogo participativo identificar una serie de propuestas de alternativas de solución para la mitigación de la erosión costera. Estas fueron agrupadas de acuerdo con los distintos enfoques que contribuyen al manejo de este fenómeno ([MADS-DELTARES-INVEMAR, 2013](#); [Cohen-Shacham et al., 2016](#)), bajo el análisis y entendimiento del contexto ambiental y geomorfológico de la Ciénaga Mallorquín discutidas durante el desarrollo de los talleres. El alcance de los resultados pretende aportar a la toma de decisiones para la gestión de riesgo de desastres, no obstante, las alternativas deben ser evaluadas con la rigurosidad técnica para establecer su posible implementación, por ejemplo, dentro del alcance de la formulación de un plan maestro de erosión costera departamental.

Las medidas de control para la erosión costera identificadas en la recopilación de información se han enfocado en la conservación y restauración de ecosistemas marinos y costeros, y la prevención y mitigación de la erosión costera. Las iniciativas realizadas por las diferentes entidades son acciones estratégicas de compensación, restauración, protección y reforestación de manglar, restauración y revitalización de rondas hídricas, control de los sedimentos. También se han ejecutado obras duras como diques y espolones para intentar mitigar los daños causados por las mareas.

Las medidas identificadas implementadas prioritariamente y focalizada a la erosión costera fueron las siguientes:

- En el 2021, Corporación Autónoma Regional del Atlántico -CRA, la Sociedad Grupo Argos y Conservación Internacional adelantaron actividades de compensación con SbN, para la protección del ecosistema de manglar.
- En septiembre de 2022 se realizó una siembra de 300 plántulas de mangle en la ciénaga de Mallorquín por parte de la Escuela Naval de Suboficiales ARC “Barranquilla” y la Institución Educativa Distrital Inocencio Chinca.
- En julio de 2024 se desarrolló una jornada de siembra de 10.000 plántulas en la Ciénaga Mallorquín, gestionado por la alianza entre la CRA y Fundación Argos, Celsia y el Negocio de Desarrollo Urbano del Grupo Argos, con el fin de recuperar áreas degradadas del ecosistema.
- En el 2023 Barranquilla Verde y la comunidad contribuyeron con la reforestación y descontaminación de los manglares en la Ciénaga de Mallorquín con la siembra de 700 plántulas de especie mangle rojo

El Instituto de Desarrollo Sostenible de la Universidad del Norte desarrollo un proyecto de restauración de playas implementado a lo largo la zona entre Bocas de Ceniza y Punta Roca, que consistió en la ubicación de cuatro trampas de sedimentos que tienen como función regular el sedimento que permite recuperar el ancho de la playa.

- **Resultados del taller con actores comunitarios**

A partir de la información recopilada en el taller se determinó que desde el conocimiento y análisis desarrollado por la comunidad para la mitigación de la erosión costera. El principal enfoque de las intervenciones o estrategias deben estar orientadas principalmente hacia Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y el uso inteligente de infraestructura gris ya establecida en el área de estudio. Del mismo modo, tienen representatividad el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos para fortalecer la implementación de acciones con la naturaleza (Figura 7.21). En la Tabla 7.3, se resumen y describen las principales alternativas identificadas durante el desarrollo del taller con los actores comunitarios.

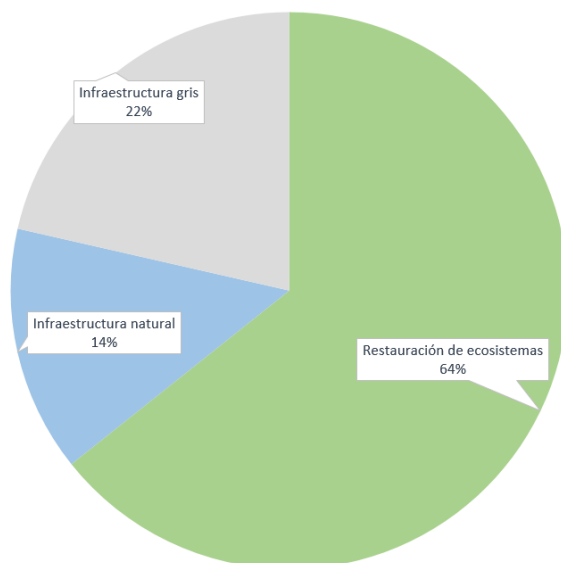


Figura 7.21. Enfoque de las soluciones identificadas por los actores comunitarios.

Tabla 7.3. Identificación de alternativas por los actores comunitarios

Alternativa/Estrategia de solución	Tipo de enfoque	Área de interés	Descripción
Siembra de manglar	Restauración de ecosistemas	Barra litoral, espiga litoral	Realizar siembra de manglar en puntos estratégicos de la ciénaga Mallorquín y la espiga litoral, en su parte protegida y expuesta. De igual manera en la barra litoral en antiguos terrenos de manglar y la actual cobertura del ecosistema. En la práctica, considerar el uso de técnicas de siembra como manglar encapsulado en estructura de madera en las zonas de mayor dinámica morfológica y menor tasa de éxito en el proceso de restauración. Evaluar la siembra de manglar en antiguos y/o recientes terrenos ocupados por el ecosistema en el área de la ciénaga Mallorquín. Además, a lo largo de la costa hasta Punta Sabanilla, empleando criterios técnicos que aseguren sus condiciones de crecimiento a partir de las

Alternativa/Estrategia de solución	Tipo de enfoque	Área de interés	Descripción
			características geomorfológicas y ambientales actuales. Es importante recuperar las coberturas de manglar en la barra litoral, que permita conformar un límite natural frente a la expansión del proyecto turístico de Puerto Mocho.
Trampas de sedimentos con estructura en madera náufraga	Infraestructura natural	Espiga litoral, barra litoral	Se plantea el aprovechamiento de madera náufraga en la construcción de estructuras perpendiculares a la línea de costa, que cumplan funciones de retención de sedimentos por deriva litoral. Estos estarían ubicados en la espiga litoral y la línea de costa hasta Punta Sabanilla.
Barras protectoras con madera náufraga	Infraestructura natural	Espiga litoral, barra litoral	Construcción de estructuras en madera en forma de cercado paralelo a la línea de costa. La propuesta es distribuirlas en la espiga litoral y la parte interna de la barra, de tal manera que contribuya a la estabilidad de la geoforma y en especial para proteger siembras de manglar. Además, se propone en la parte este de la bahía.
Dragado de áreas de sedimentación	Restauración de ecosistemas	Laguna costera	Solución a la sedimentación de algunos sectores de la ciénaga Mallorquín. El material puede ser evaluado para uso en zonas afectadas por la erosión costera.
Espolones	Infraestructura gris	Espiga litoral, barra litoral	Esta medida se propone para las áreas más críticas por erosión o aquellas que requieren de una estabilización inmediata. Se debe evaluar sus efectos sobre la dinámica de la costa y los ecosistemas presentes.
Restablecimiento de flujos hídricos hacia la ciénaga Mallorquín	Infraestructura natural	Laguna costera	Mantenimiento del <i>box culvert</i> que permita los flujos de agua y sedimentos desde el río Magdalena.

Alternativa/Estrategia de solución	Tipo de enfoque	Área de interés	Descripción
Enrocados	Infraestructura gris	Espiga litoral, barra litoral	Esta medida se propone en las áreas más críticas por erosión o aquellas que requieren de una estabilización inmediata. Se debe evaluar sus efectos sobre la dinámica de la costa y los ecosistemas presentes.
Restablecimiento de flujos hídricos a través del tajamar occidental	Infraestructura gris	Desembocadura río Magdalena	Adecuación viaductos sobre el tajamar occidental, que permita la entrada de los flujos de agua desde el río Magdalena hacia la costa.

- **Resultado taller con actores expertos**

A los resultados del taller con expertos temáticos se aplicó el ejercicio de agrupación de la información según el enfoque al que están dirigidas las intervenciones para la mitigación de la erosión costera. Desde el análisis de los expertos se observa una correspondencia con la visión de la comunidad, hacia las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y el uso inteligente de estructura gris. En esta última, toma relevancia la posibilidad de considerar nuevas obras en puntos estratégicos de la costa (Figura 7.22). En la Tabla 7.4, se resumen y describen las principales alternativas identificadas durante el desarrollo del taller con los expertos.

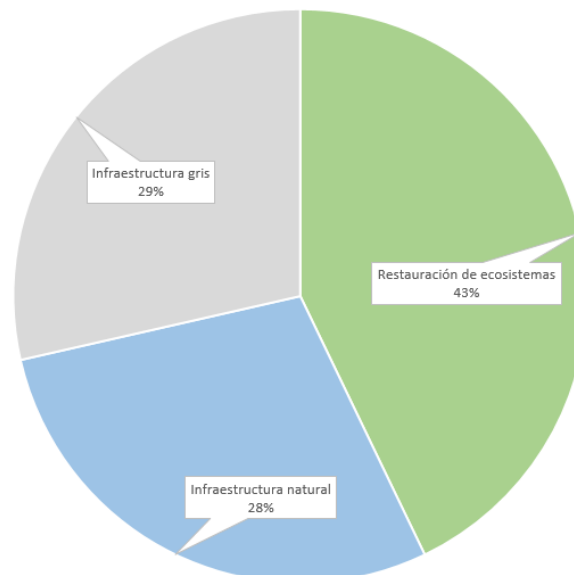


Figura 7.22. Enfoque de las soluciones identificadas por los actores expertos.

Tabla 7.4. Identificación de alternativas por los actores expertos

Alternativa/Estrategia de solución	Tipo de enfoque	Área de interés	Descripción
Siembra de mangle	Restauración de ecosistemas	Barra litoral, espiga litoral	Realizar siembra de manglar en puntos estratégicos de la ciénaga Mallorquín y la espiga litoral con un enfoque de protección de la costa. Sin embargo, es importante establecer la capacidad del sistema y realizar restauración o nueva siembra acorde con las condiciones ambientales actuales.
Restauración de dunas	Restauración de ecosistemas	Barra litoral, espiga litoral	Utilización de madera náufraga/ahogada para retener el material fino transportado por el viento. La técnica contribuiría a la formación de dunas en las áreas potenciales y donde actualmente se desarrollan.
Trampas de sedimentos con estructura en madera náufraga	Infraestructura natural	Espiga litoral, barra litoral	Se plantea el aprovechamiento de la madera náufraga para la construcción de estructuras en madera perpendiculares a la línea de costa que cumplan funciones de retención de sedimentos por deriva litoral. Estos estarían ubicados en la espiga litoral y la línea de costa hasta Punta Sabanilla.
Rompeolas unidos a tierra o espolones en forma de T	Infraestructura gris	Barra litoral	Esta medida se propone en las áreas más críticas por erosión o aquellas que requieren de una estabilización inmediata. Se debe evaluar sus efectos sobre la dinámica de la costa y los ecosistemas presentes.
Uso de sedimentos de dragado	Restauración de ecosistemas	Fondos marinos	Solución orientada al uso de los sedimentos aportados por el río Magdalena, se propone que el material extraído del dragado se descarguen costa afuera en puntos estratégicos de departamento del Atlántico y entre al proceso de transporte por medio de la deriva litoral.

Alternativa/Estrategia de solución	Tipo de enfoque	Área de interés	Descripción
Rompeolas y tajamar	Infraestructura gris	Acantilados	Esta medida se propone para intervenir las puntas prioritarias de Punta Sabanilla (Punta Roca) y Punta Ferú en Santa Verónica, que contribuyan al efecto del oleaje sobre la costa. Se debe evaluar sus efectos sobre la dinámica de la costa y los ecosistemas presentes.
Restablecimiento de flujos hídricos en canales secundarios	Restauración de ecosistemas	Laguna costera	Esta medida busca impactar sobre la recuperación del manglar en la Ciénaga Manatíes, de igual manera favorecer condiciones de para la restauración en áreas degradadas por la falta de aporte de agua dulce.
Enrocados	Infraestructura gris	Espiga litoral, barra litoral	Esta medida se propone en las áreas más críticas por erosión o aquellas que requieren de una estabilización inmediata. Se debe evaluar sus efectos sobre la dinámica de la costa y los ecosistemas presentes.
Restablecimiento de flujos hídricos a través del tajamar occidental	Infraestructura gris	Desembocadura río Magdalena	Adecuación box culvert sobre el tajamar occidental, que permita la entrada de los flujos agua y sedimentos del río Magdalena y aporte al déficit de sedimentos.

En el diálogo con los expertos temáticos se presentaron recomendaciones relacionadas con las características ambientales actuales de la ciénaga Mallorquín y la gestión de la erosión costera, las cuales se describen a continuación:

- Es importante identificar y analizar las problemáticas generadas por los puertos y concesiones en el borde del tajamar.
- Analizar los impactos del desvío del arroyo León en términos del balance hídrico de la ciénaga.
- Realizar monitoreo hidrosedimentológico, calidad de agua y de sedimentos.
- Estudiar con modelos validados los efectos del tajamar sobre el transporte de sedimentos en la desembocadura del río Magdalena.
- Profundizar en Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) revisando experiencias exitosas.

- Revisar el efecto del “terraplén” de la sociedad portuaria del Caribe en la dinámica morfológica de la espiga litoral. De igual manera, el escenario del retiro del terraplén.
- Es importante evaluar la localización de las siembras con mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y establecer los sitios donde se espera un mayor beneficio para la ciénaga Mallorquín.
- El reuso del sedimento de dragado que es depositado al mar es una alternativa que se debe considerar. Es importante entender el sistema para establecer la mejor ubicación según el objetivo de uso, ya sea creación directa de tierra/islas, alimentación del espigón existente o colocación con las corrientes para su redistribución natural.
- Considerar disminuir el énfasis en reforestación de manglar y por ahora aumentarlo en monitoreo para entender la tasa de éxito de estas plantaciones, y las condiciones que generan ese éxito, por ejemplo, tipo de sedimento presente, elevación respecto al nivel del mar, densidad in-situ, alternancia de especies. Esto puede llevar a conclusiones que indiquen donde se necesita el sedimento. Por ejemplo, crear un cinturón más ancho en la barra que protege la ciénaga, con las condiciones apropiadas para la propagación del manglar existente.
- Soluciones como *bypass* de sedimentos, es interesante, pero también debe ser estudiada con detalle (costos, factibilidad). Esta acción, a pesar de en teoría restaurar el balance natural de las costas a ambos lados del río Magdalena, puede originar la reducción del sedimento en algunos sitios.

7.2.2 Seguimiento a la erosión costera y cambios geomorfológicos del departamento del Atlántico

Estado del arte

La franja litoral del departamento del Atlántico ha sido objeto de análisis y estudios desde diversas temáticas medio ambientales como dinámica geomorfológica (Gonzales, 2023; [Fuentes, 2022](#); [INGEOMINAS, 2010](#); [Rangel-Buitrago, 2009](#); [INVEMAR, 2007](#); [Molina, 1999](#)) y erosión costera ([Ferrucho-Maloof, 2022](#); [García, 2021](#); [Ricaurte et al, 2018](#)). Permiten establecer un panorama actual del comportamiento de las temáticas en la zona costera del departamento del Atlántico, sin embargo, los estudios se desarrollaron de forma independiente, por lo tanto, resulta necesario construir un estado del arte el cual permitirá establecer conocimientos, métodos y resultados para abordar la problemática de erosión costera desde un contexto reciente.

Para esta revisión se ha recopilado y analizado diferentes estudios e investigaciones relacionadas con la dinámica costera en la región. Se destacan los resultados de Paniagua (2023), que identifica los procesos erosivos que amenazan los servicios ecosistémicos y la infraestructura del frente costero. El autor concluye que la construcción de los tajamares en

Boca de Ceniza es uno de los factores antropogénicos que alteró significativamente la dinámica sedimentaria. Esta intervención bloqueó el flujo de sedimentos del río Magdalena, lo que generó un déficit en las playas cercanas del departamento y provocó cambios oceanográficos, como la migración de la barrera de arena Isla Verde hacia Puerto Colombia. Este fenómeno contribuyó a la formación de la Ciénaga de Balboa, un humedal que actualmente sufre contaminación, mientras que los sedimentos acumulados en Puerto Velero incrementaron la erosión en esa zona del litoral. Por otro lado, se ha reunido información específica sobre el uso de técnicas de teledetección y sensoramiento remoto, herramientas clave para el monitoreo y análisis espacial de los procesos erosivos y las transformaciones costeras.

El frente costero del departamento del Atlántico está influenciado por diversos procesos naturales y actividades humanas que afectan su estabilidad y configuración geomorfológica. Las costas del Atlántico enfrentan fenómenos de erosión y sedimentación debido a la interacción de dinámicas oceánicas, el flujo de los ríos y el cambio climático (Ricaurte-Villota & Coca-Domínguez, 2018). Estos procesos han generado preocupación entre investigadores y autoridades locales, ya que sus impactos negativos afectan a las comunidades costeras, la infraestructura turística y ecosistemas sensibles como las playas y los manglares.

La erosión costera, definida como la pérdida progresiva de sedimentos a lo largo de la línea de costa ([Merlotto, 2007](#)), ha sido un problema recurrente en la región del Atlántico. Zonas como Puerto Colombia, Salgar, Sabanilla y Bocas de Ceniza han recibido intervenciones del gobierno y entidades privadas que han implementado medidas de mitigación para frenar el avance del mar y proteger las áreas urbanas y turísticas. Sin embargo, los resultados de estas soluciones han sido mixtos; en algunos casos, han empeorado la situación en áreas adyacentes debido a alteraciones en las dinámicas de transporte sedimentario ([Ferrucho-Maloof et al., 2022](#)).

El seguimiento de la erosión costera y los cambios geomorfológicos en el litoral del Atlántico ha sido un campo de investigación activo, especialmente en las últimas dos décadas. Gracias a los avances en tecnologías de teledetección, modelos numéricos y Sistemas de Información Geográfica, se han podido monitorear la línea de costa y analizar los factores que la afectan ([Pinto, 2016](#)). Estas herramientas han proporcionado una visión más clara y detallada de los cambios geomorfológicos, contribuyendo al desarrollo de estrategias más efectivas para la mitigación y adaptación al cambio climático.

Uno de los factores más determinantes en esta región ha sido el aumento del nivel del mar, impulsado por el cambio climático global, que ha intensificado el retroceso de la línea de costa. Según Torres Parra et al. ([2008](#)), el nivel del mar en la costa Caribe colombiana ha aumentado entre 3 y 3,5 m año⁻¹, lo que agrava la erosión costera. Además, la acción de oleajes y tormentas, combinada con actividades humanas como la construcción de espigones y muelles, ha alterado

las dinámicas naturales de transporte de sedimentos, generando un desequilibrio en el sistema litoral. Estos fenómenos no solo han afectado la geomorfología costera, sino que también han puesto en riesgo a los asentamientos humanos, la infraestructura turística y los ecosistemas locales.

Análisis de los cambios de la línea de costa del departamento

El análisis de los cambios de línea de costa y tasas de erosión costera se realizó comparando dos temporadas climáticas contrastantes: la temporada húmeda y la temporada seca. A través del análisis de transectos, se identificaron patrones diferenciados de erosión y acreción que reflejan los efectos directos de las condiciones climáticas sobre la dinámica litoral del departamento. Este análisis permite comprender cómo las variaciones estacionales influyen en los procesos costeros, reflejando las áreas más vulnerables a la erosión como las zonas que experimentan recuperaciones temporales. Los resultados revelan diferencias marcadas entre ambas temporadas, mostrando la complejidad de la interacción entre los factores ambientales y geomorfológicos en la configuración del frente costero.

Temporada seca

Durante la temporada seca (Figura 7.23), los resultados indican una predominante erosión a lo largo de la línea de costa, evidenciada por los valores negativos de los transectos de NSM. Los localizados entre el centro poblado de Puerto Colombia y la Ciénaga de la Virgen presentan erosión considerable, siendo los valores más altos -67,89 m y -31,07 m. Esto sugiere un intenso proceso de erosión en estas áreas durante esta época del año lo que expone significativamente a los elementos costeros ubicados en estas áreas.

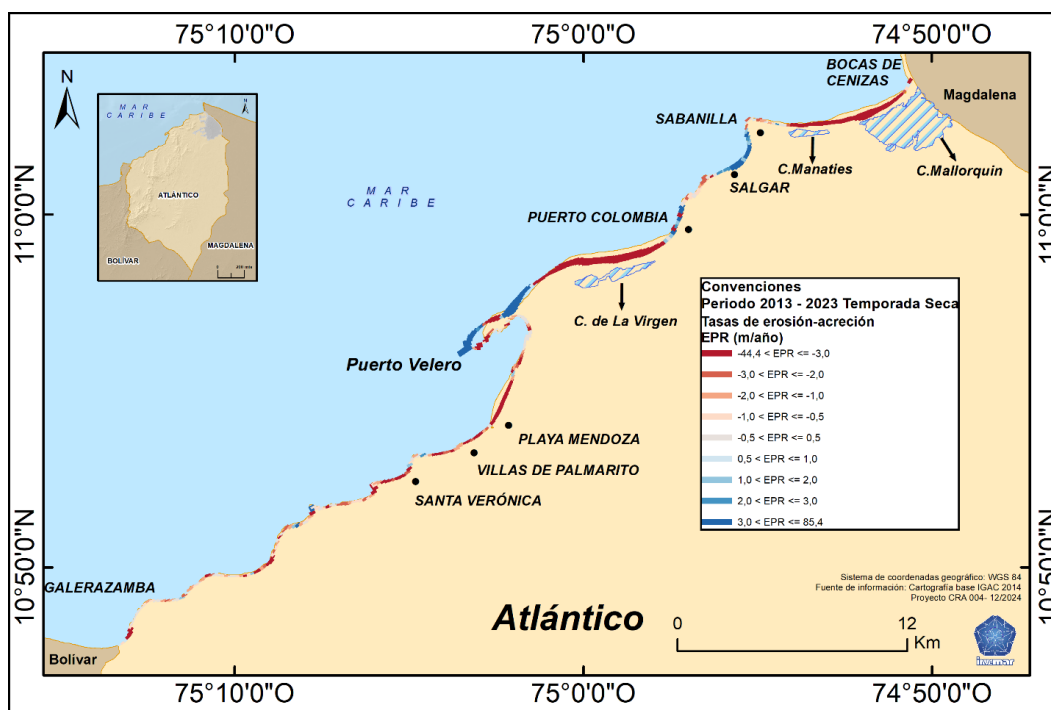


Figura 7.23. Mapa de las Tasas de Cambio de Erosión (EPR) en la Línea de Costa del Departamento del Atlántico durante la Temporada Seca.

Por otro lado, algunas áreas muestran ganancia de terreno o acreción. En los transectos con valores de $31,77 \text{ m año}^{-1}$ y $23,46 \text{ m año}^{-1}$ localizados al sur de la línea de costa del departamento son ejemplos donde se registra una recuperación del litoral. Sin embargo, estos casos son puntuales en un contexto general de erosión. Los valores tanto de la tasa de cambio en metros por año (EPR) como de la tasa de regresión lineal (LRR) reflejan la misma tendencia erosiva en la mayoría de los transectos, consolidando un escenario de pérdida de terreno durante la temporada seca.

Temporada húmeda

Durante la temporada húmeda (Figura 7.24) se observa una mayor variabilidad en los patrones de erosión y acreción. Aunque la erosión sigue predominando en varios transectos, como el área ubicada cerca de la ciénaga de Mallorquín, que presenta una erosión severa con un NSM de $-282,15 \text{ m año}^{-1}$, también se han identificado transectos con procesos de acreción. Un ejemplo, son los transectos que alcanzan $179,95 \text{ m año}^{-1}$ y $689,99 \text{ m año}^{-1}$, localizados en Puerto Velero, donde se evidencia una recuperación sostenida del terreno tanto en esta temporada como a lo largo del tiempo.



Figura 7.24. Mapa de las tasas de cambio de erosión (EPR) en la línea de costa del departamento del Atlántico durante la temporada húmeda.

En cuanto a las tasas de cambio (EPR y LRR), se registran casos de erosión intensa, como en el transecto cercano a Playa Mendoza, donde los valores de EPR ($-10,56 \text{ m año}^{-1}$) y LRR ($-10,52 \text{ m año}^{-1}$) resaltan la magnitud del fenómeno erosivo. Sin embargo, en otras áreas, como el transecto ubicado en las cercanías de Puerto Velero, se observa una transición hacia la acreción durante la temporada húmeda, lo que sugiere la influencia de los patrones estacionales en los procesos costeros.

Comparación entre temporadas

La comparación entre ambas temporadas permite identificar importantes diferencias en los procesos de erosión y acreción. En algunos sectores, la erosión es significativamente más pronunciada durante la temporada seca (Figura 7.25). Por ejemplo, en el transecto en cercanía a la localidad de Salgar, se registra una erosión de $-19,66 \text{ m año}^{-1}$ en la temporada seca, en comparación con $9,28 \text{ m año}^{-1}$ en la húmeda, lo que indica una intensificación de los procesos erosivos en la temporada seca. En contraste, el transecto próximo a Puerto Colombia presenta una ganancia de terreno durante la temporada húmeda ($31,77 \text{ m año}^{-1}$) frente a una pérdida en la temporada seca ($-36,71 \text{ m año}^{-1}$), lo que podría explicarse por la dinámica sedimentaria vinculada a las lluvias.

Los transectos con mayor erosión en la temporada seca, exhiben valores extremos de EPR y LRR, lo que confirma la tendencia de erosión prolongada, pero con mayor intensidad durante la época seca. En otros casos, como el transecto 181 localizado en el sector de Puerto Velero, los valores de EPR y LRR reflejan una transición hacia la acreción en la temporada húmeda, lo que puede estar vinculado a factores estacionales como la reducción en la energía de las olas o una mayor estabilización del litoral.

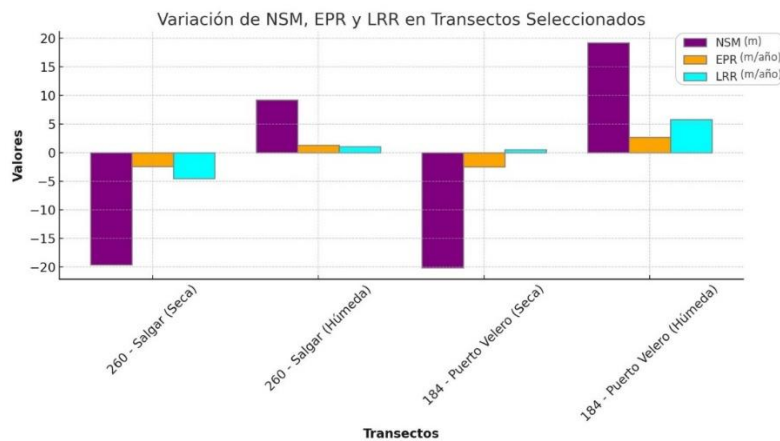


Figura 7.25. Comparación de la variación de NSM, EPR y LRR en transectos de Salgar y Puerto Velero durante las temporadas seca y húmeda.

El análisis revela que la temporada seca se caracteriza por una mayor intensidad erosiva a lo largo del frente costero del departamento del Atlántico. Esto puede atribuirse a una disminución en el aporte sedimentario por la falta de lluvias o a la acción de factores estacionales que favorecen la erosión. En contraste, la temporada húmeda muestra intervalos de erosión y acreción, aunque la erosión sigue siendo el proceso predominante. La recuperación temporal del terreno en algunos puntos, como los próximos a el sector de Puerto Velero, podría estar relacionada con la sedimentación generada durante las lluvias.

Identificación de patrones emergentes, factores de influencia y posibles escenarios futuros en la evolución del litoral

Altura del Oleaje.

La exposición del frente costero del departamento del Atlántico a la acción del oleaje varía significativamente en función de su intensidad y energía; lo que incide en los niveles de vulnerabilidad costera (Figura 7.26). Este análisis consideró dos puntos de medición, promediados para los dos periodos climáticos contrastantes (temporadas seca y húmeda), utilizando datos provenientes de Copernicus Marine Service.

Los resultados indican que el tramo costero comprendido entre Galerazamba y Puerto Velero presenta una altura promedio de oleaje de 1 metro, lo que corresponde a un nivel de susceptibilidad bajo. Este comportamiento puede atribuirse a la protección natural y artificial proporcionada por elementos como la espiga ubicada en Puerto Velero, que contribuyen a atenuar la energía del oleaje en este sector.

Por otro lado, el tramo entre Puerto Colombia y la Ciénaga de Mallorquín registra una altura promedio de oleaje de 1,25 metros, clasificado como de susceptibilidad media. La mayor exposición de este sector a las dinámicas del oleaje puede estar relacionada con la ausencia de barreras significativas que mitiguen su impacto, así como con la orientación y las características geomorfológicas locales.



Figura 7.26. Vulnerabilidad por altura de oleaje.

Nivel del Mar

La zona costera del departamento del Atlántico muestra una alta vulnerabilidad (4) al incremento del nivel del mar, con una tasa de ascenso estimada en 3,58 mm año⁻¹. Este valor supera

ligeramente el promedio global de $3,5 \text{ mm año}^{-1}$, lo que genera un riesgo significativo para la estabilidad de la región. Como se ilustra en la Figura 7.27, la totalidad del territorio analizado mantiene un nivel uniforme de vulnerabilidad, dado que el aumento del nivel del mar es un fenómeno global que, a la escala de este estudio, no evidencia variaciones espaciales.



Pendientes

La Figura 7.28 muestra las pendientes de la zona de estudio, destacando que la mayor parte del área presenta pendientes bajas, correspondientes a valores de 4 y 5 en la escala de vulnerabilidad. Este patrón es indicativo del carácter plano de la región costera, con escasa variación altimétrica. Sin embargo, se identifican sectores con pendientes más pronunciadas, especialmente en las áreas central y sur del litoral, donde predominan colinas y acantilados. Estas zonas, con valores de 1, 2 y 3 en la escala de vulnerabilidad, presentan un menor riesgo de inundación y erosión relacionados con el incremento del nivel del mar.

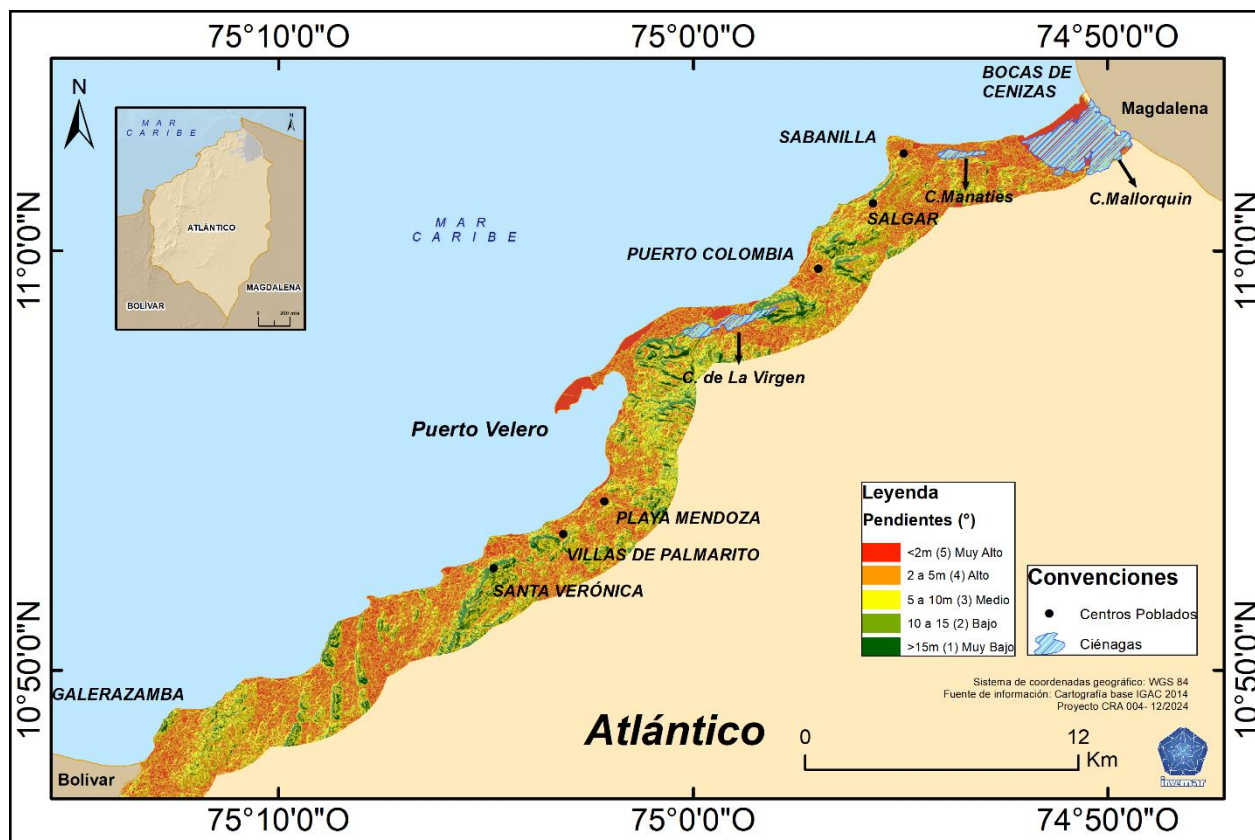


Figura 7.28. Vulnerabilidad por pendientes.

Geomorfología

El resultado del análisis geomorfológico, representado en la

Figura 7.29. Vulnerabilidad por geomorfología., evidencia una notable diversidad de formas costeras en la zona de estudio, influenciada por procesos tectónicos, fluviales, marinos y eólicos.

- **Geoformas bajas y planas:** Estas incluyen playas y ciénagas, las cuales obtienen valores de 5 en la escala de vulnerabilidad, siendo las más expuestas al aumento del nivel del mar.
- **Geoformas altas e inclinadas:** Comprenden colinas, lomas y acantilados altos, con valores de 1 o 2 en la escala de vulnerabilidad, lo que indica una menor exposición a riesgos costeros.
- **Geoformas intermedias:** Incluyen acantilados medios, terrazas fluvio-marinas, llanuras costeras, espigas y barras litorales, con valores de 3 y 4, reflejando una exposición moderada.

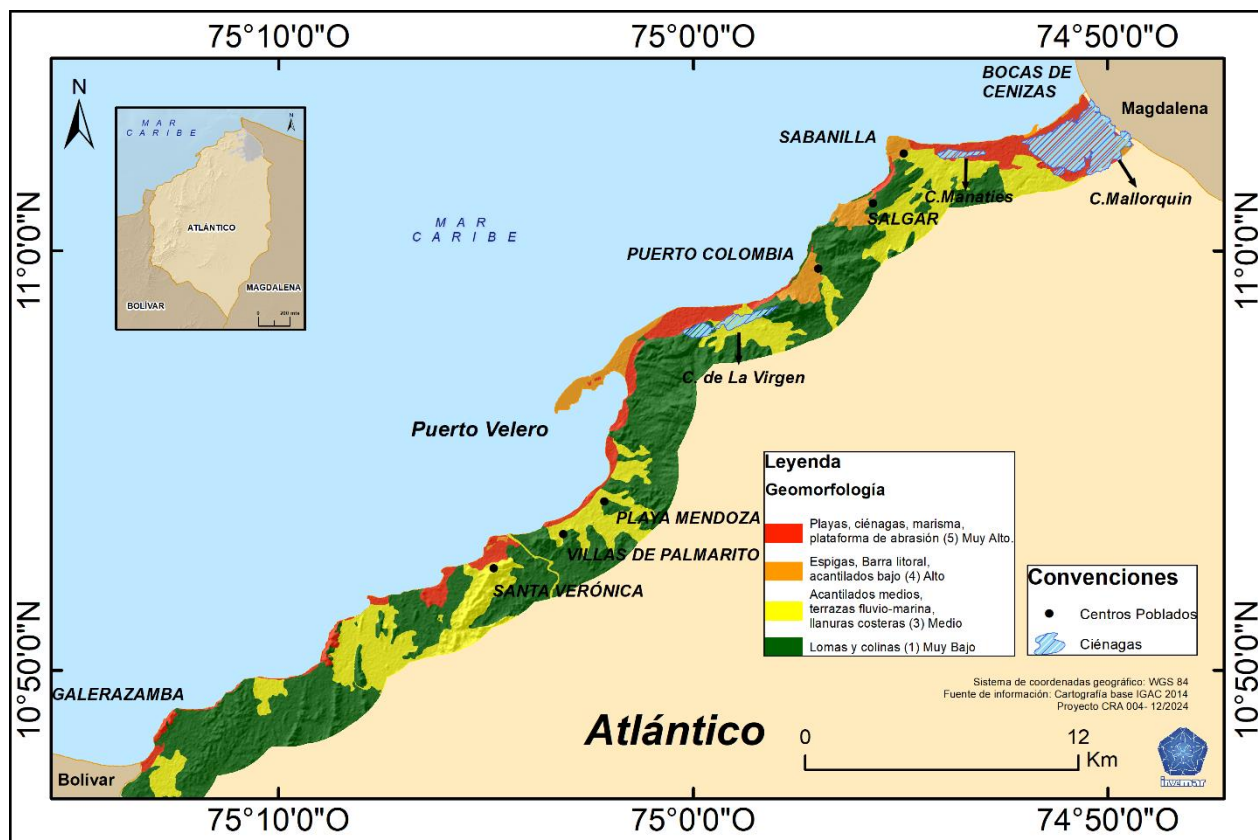


Figura 7.29. Vulnerabilidad por geomorfología.

Distancia a la costa

La Figura 7.30 muestra el resultado de las distancias a la línea de costa en la zona de estudio. La mayor parte del territorio se clasifica con distancias medias o altas, correspondientes a valores de 1 o 2 en la escala de vulnerabilidad, lo que indica un riesgo relativamente bajo frente a inundaciones. Sin embargo, se identifican áreas más cercanas al litoral (<449 m), como en los municipios de Puerto Colombia y Salgar, que alcanzan un valor de 5 en la escala de vulnerabilidad, reflejando un riesgo elevado de inundaciones futuras.

Es importante resaltar que esta variable es dinámica, ya que está estrechamente vinculada con la tasa de erosión costera, la cual puede alterar significativamente la distancia a la costa con el tiempo. En algunas zonas, se han registrado tasas de erosión extrema, superiores a 44 m año^{-1} , lo que podría aumentar considerablemente la vulnerabilidad de áreas actualmente clasificadas como de menor riesgo. Este resultado indica la necesidad de monitoreo constante y la implementación de medidas adaptativas para mitigar el impacto de la erosión y el cambio climático en la región.

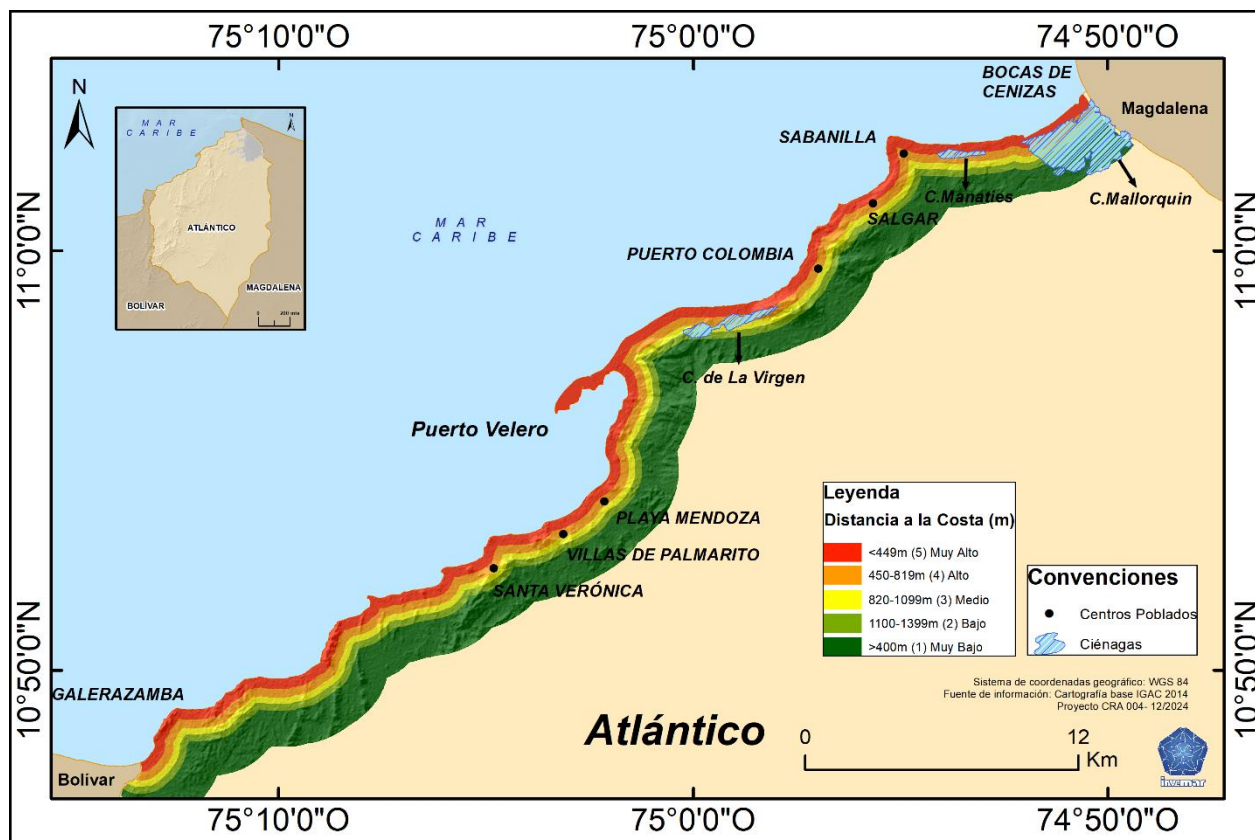


Figura 7.30. Vulnerabilidad por distancia a la costa.

Tasas de Erosión Costera

El análisis de las tasas de erosión, representado en la Figura 7.31, detalla los cambios en la línea de costa entre 2013 y 2023, identificando tres sectores con dinámicas diferenciadas.

- Sector 1: Galerazamba - Playa Mendoza

Este es el sector más estable, con cambios mínimos en la línea de costa. Solo se observan áreas con erosión leve, registrando tasas de aproximadamente $0,70 \text{ m} \cdot \text{año}^{-1}$ en el suroeste.

- Sector 2: Playa Mendoza - Puerto Colombia

Es el sector más dinámico, caracterizado por significativos cambios costeros. La formación de la espiga de Puerto Velero muestra una tendencia hacia la acreción, con acumulaciones de hasta $40 \text{ m} \cdot \text{año}^{-1}$, resultado del transporte de sedimentos del río Magdalena. Sin embargo,

este proceso ha generado una sombra sedimentaria que intensifica la erosión en áreas cercanas, como la Ciénaga de la Virgen y el tramo entre Caño Dulce y Playa Mendoza. La tasa promedio de erosión aquí es de 26 m año^{-1} , siendo la más alta del litoral del Atlántico, según el análisis de LRR (Tasa Lineal de Regresión).

- Sector 3: Puerto Colombia - Bocas de Ceniza

Este sector presenta condiciones contrastantes: zonas relativamente estables o con erosión leve, como Salgar, y otras con erosión extrema. La mayor afectación se registra entre la Ciénaga de Manatíes y el tajarar de Bocas de Ceniza, incluyendo la Ciénaga de Mallorquín, con una tasa promedio de erosión de 14 m año^{-1} .

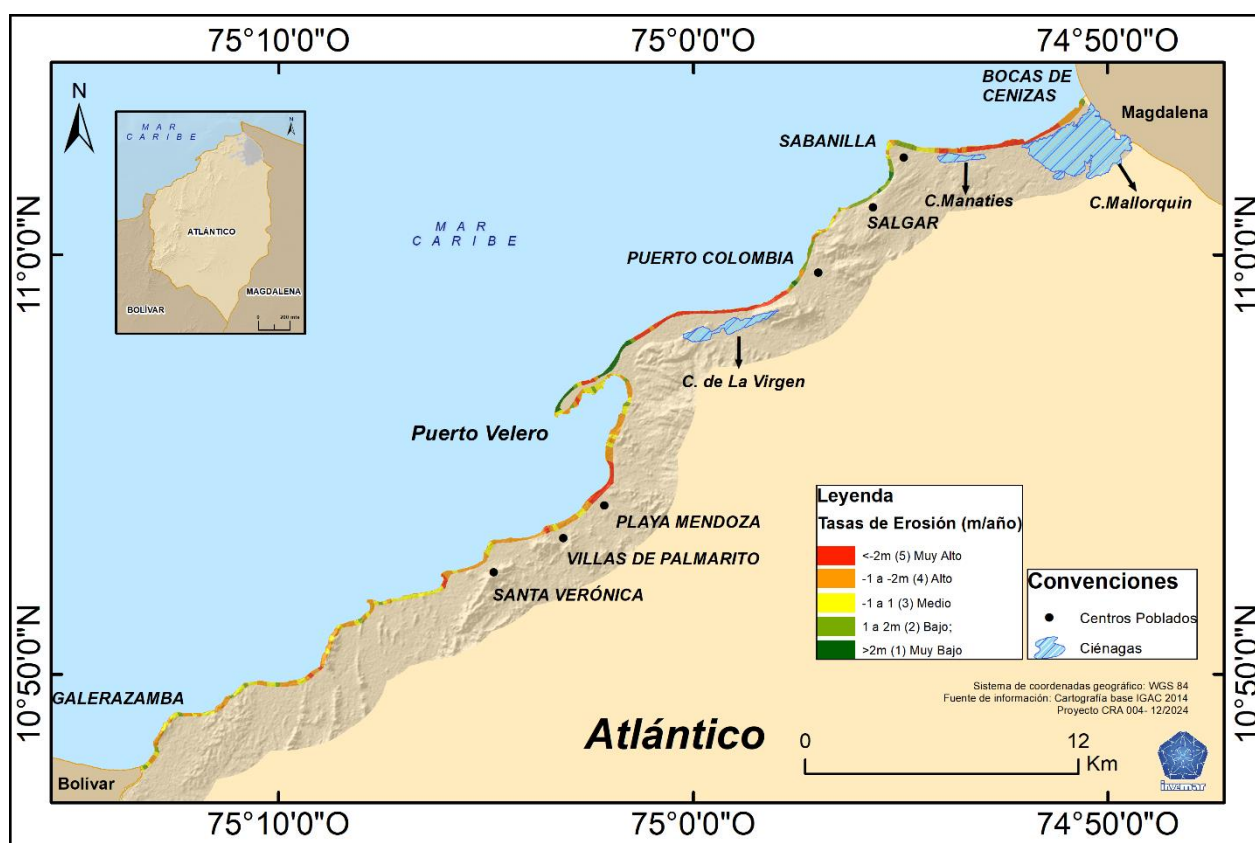


Figura 7.31. Vulnerabilidad por erosión costera.

Coberturas

La Figura 7.32 muestra el resultado del análisis de las coberturas del área de estudio y su relación con el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC). Las coberturas más vulnerables incluyen áreas

urbanas, cuerpos de agua, cultivos y suelos desnudos, localizadas principalmente en el norte y centro, en sectores como Sabanilla, Salgar, Puerto Colombia, Playa Mendoza y Santa Verónica. Estas coberturas carecen de elementos protectores naturales, lo que las hace especialmente susceptibles a los procesos de erosión costera.

En contraste, las áreas cubiertas por pastos presentan una vulnerabilidad media, dado que proporcionan cierta estabilización del suelo. Las áreas con vegetación densa, por su parte, son las menos vulnerables, funcionando como barreras naturales eficaces contra la erosión. El resultado destaca la importancia de preservar las coberturas vegetales existentes y aplicar estrategias sostenibles para reducir la exposición al riesgo en las zonas más críticas.

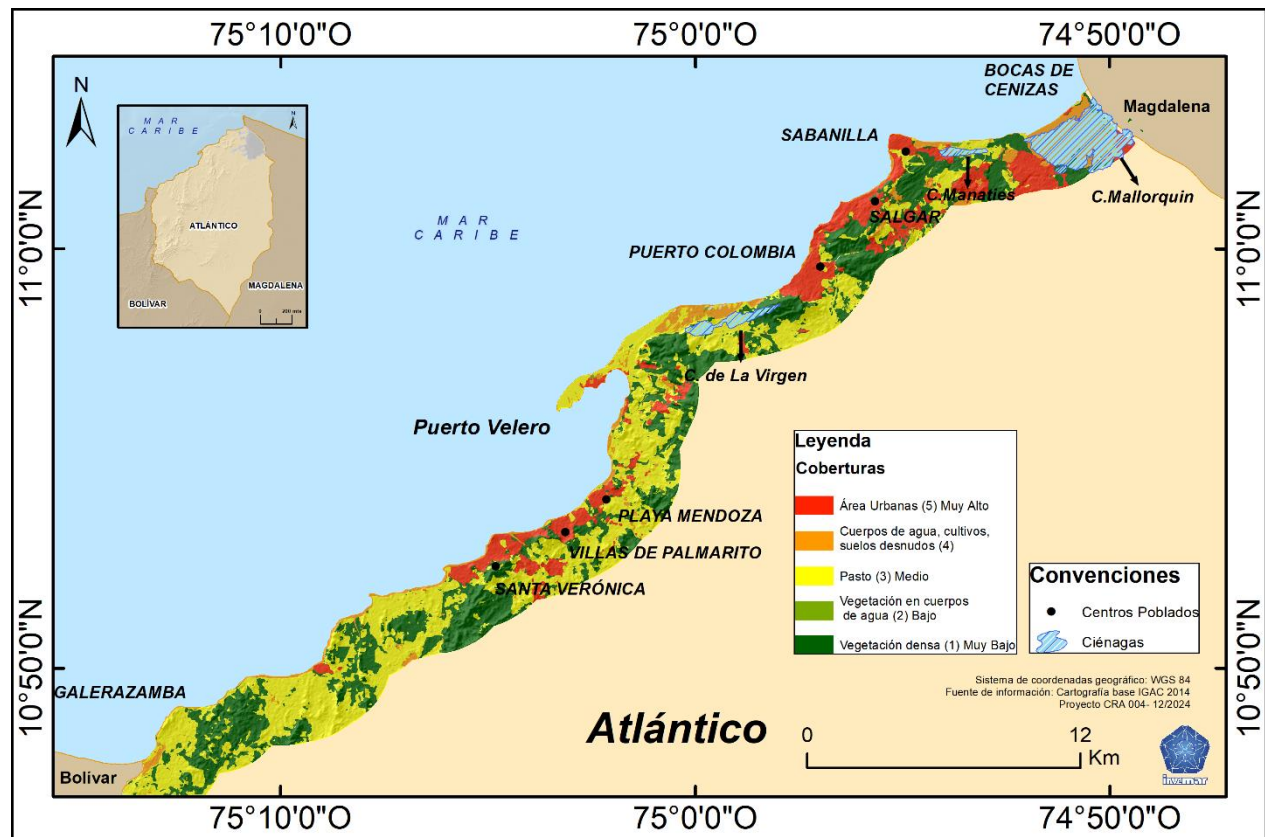


Figura 7.32. Vulnerabilidad por coberturas.

Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC)

El Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) sintetiza las variables analizadas y ofrece una evaluación integral de los factores de influencia y posibles escenarios futuros del litoral frente a múltiples riesgos costeros. Este índice se construyó a partir de 353 transectos perpendiculares a la línea

de costa, con una longitud y separación uniforme de 200 metros. Cada parámetro utilizado en el cálculo del IVC fue clasificado de acuerdo con los rangos específicos de la región estudiada, permitiendo así establecer cinco niveles de vulnerabilidad costera.

En el área de estudio, que abarca 1.037 hectáreas, los valores del IVC fluctuaron entre 8 y 5,357, categorizados en cinco niveles mediante cuartiles (Tabla 7.5). Los resultados muestran que el 23,17 % de la costa (240,37 ha) presenta una muy baja vulnerabilidad, mientras que el 21,04 % (218,24 ha) corresponde a áreas con alta vulnerabilidad. Las demás categorías incluyen: 20,05 % (208 ha) con baja vulnerabilidad, 19,55 % (202,77 ha) con vulnerabilidad moderada, y 16,18 % (167,86 ha) con muy alta vulnerabilidad, tal como se visualiza en la Figura 7.33.

Tabla 7.5. Rangos de valores de CVI calculados para este estudio.

Rango cuantil	IVC
0-20%	8-171
20-40%	171-411
40-60%	411-642
60-80%	642-1.285
80-100%	1.285-5.357

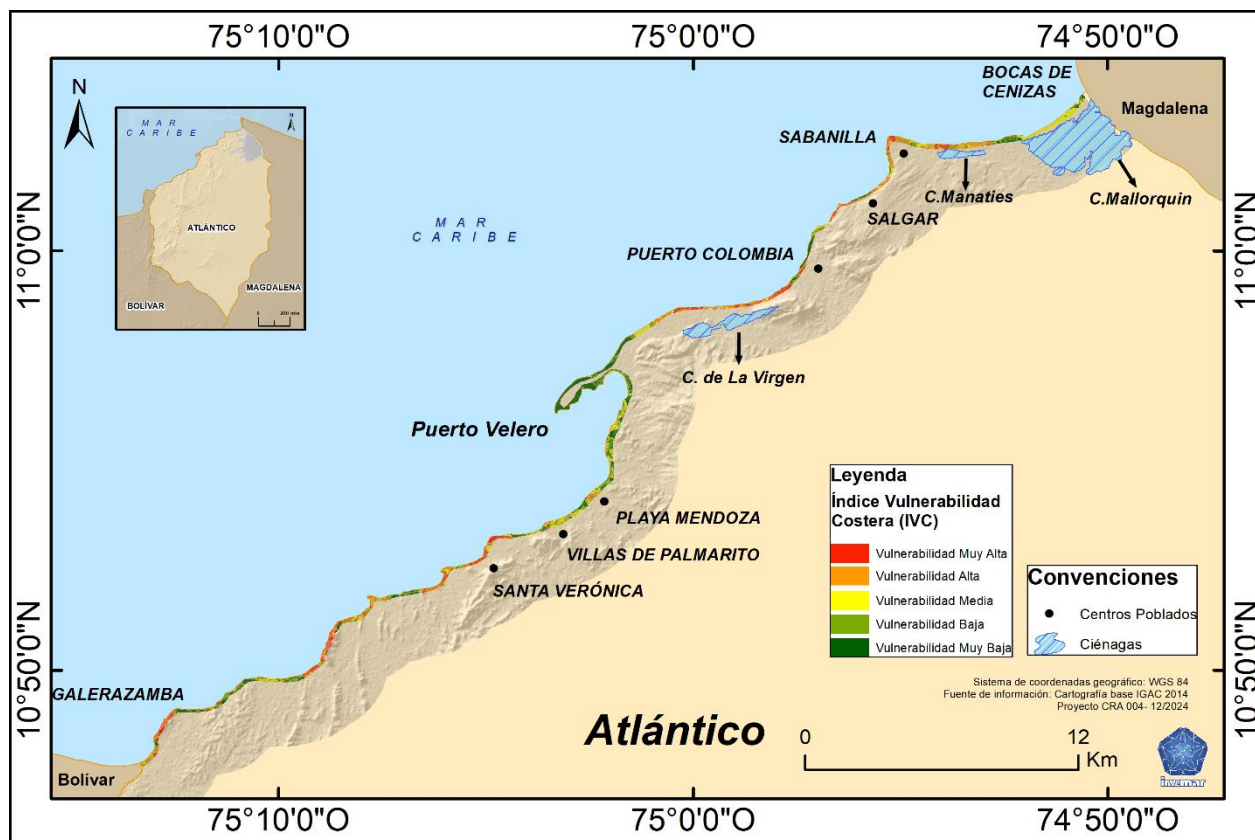


Figura 7.33. Índice de vulnerabilidad costera.

Distribución Geográfica de la Vulnerabilidad

Las zonas con muy baja vulnerabilidad se caracterizan por la presencia de geoformas elevadas, como colinas y acantilados altos, con pendientes superiores al 12 %. Las áreas de vulnerabilidad moderada comprenden terrazas litorales y acantilados medios, mientras que las de alta y muy alta vulnerabilidad, como playas y ciénagas, tienen pendientes bajas y elevaciones entre 2 y 5 metros.

En términos de cobertura terrestre, las categorías más vulnerables abarcan áreas urbanas, cuerpos de agua, cultivos y suelos desnudos, distribuidos principalmente en el sector norte del litoral. Por el contrario, las zonas con vegetación densa, predominantes en Puerto Velero, ofrecen mayor protección, con vulnerabilidad muy baja. Las áreas urbanas y zonas centrales como Sabanilla, Salgar y Puerto Colombia muestran niveles más altos de riesgo, especialmente ante la erosión y la subida del nivel del mar.

Relevancia y Contexto

Los resultados son coherentes con otros estudios. Ricaurte-Villota et al. (2018) indican que el 55% de la línea de costa del departamento del Atlántico se clasifica dentro de los rangos de amenaza alta y media, afectando principalmente las costas bajas, donde predominan las playas y playones. Además, el 33% de la costa presenta una vulnerabilidad alta, impactando zonas críticas como las localidades de Puerto Colombia, Salgar y Santa Verónica, junto con los servicios ecosistémicos presentes.

En INVEMAR (2017) se señala que el 30% de la costa Caribe está amenazada por la erosión, siendo el Atlántico uno de los departamentos más afectados. Asimismo, un informe del MADS (2016) destaca la alta exposición del Atlántico al ascenso del nivel del mar, lo que refuerza la importancia del IVC como herramienta de diagnóstico.

7.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La línea de costa que se configura entre la ciénaga Mallorquín y Punta Sabanilla tiene una tendencia predominante a la erosión. Los resultados evidenciaron una mayor dinámica morfológica en la espiga litoral y el sector de la desembocadura del arroyo León. Aunque la barra litoral es de menor dinámica morfológicamente, en esta se presenta erosión costera.

El análisis de las características geomorfológicas y socio-ambientales del área de estudio permitieron identificar posibles alternativas de solución para la mitigación de la erosión costera desde distintos enfoques. Dentro de estos, se considera como principal la restauración de ecosistemas y el uso inteligente de infraestructura gris. En general, las medidas están orientadas a una visión integral del territorio partiendo del estado actual en que se encuentran los ecosistemas costeros y la infraestructura presente. Es importante mencionar que las alternativas deben ser evaluadas con la rigurosidad técnica para establecer su posible implementación, por ejemplo, dentro del alcance de la formulación de un plan maestro de erosión costera departamental para el Atlántico.

Por otra parte, el análisis de los sedimentos de la ciénaga de Mallorquín revela un predominio de arena fina en la granulometría, especialmente en las zonas supramareal y mesomareal, lo que sugiere un ambiente de transporte constante de sedimentos. En la zona inframareal, se observan partículas más gruesas, lo que indica variabilidad en el transporte. La mineralogía muestra una composición rica en cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos, con una presencia

secundaria de minerales pesados, reflejando un entorno fluvial o estuarino. El contenido de carbonatos es generalmente bajo, aunque en algunas muestras se observan valores más altos, lo que indica mayor actividad biológica, especialmente en la zona mesomareal. Finalmente, el contenido de materia orgánica es bajo en todas las muestras, lo que sugiere una productividad biológica moderada, con una mayor concentración en la zona inframareal. En conjunto, estos resultados proporcionan una visión integral de los procesos sedimentarios que afectan a la ciénaga de Mallorquín.

El litoral del departamento del Atlántico presenta una dinámica costera compleja y altamente influenciada por factores tanto naturales como antrópicos. El análisis de las variables geomorfológicas, climáticas y ambientales, así como de las tasas de erosión costera y los patrones estacionales de acreción y erosión, permitió identificar zonas críticas y tendencias significativas que requieren atención prioritaria para su manejo y preservación.

En términos generales, los resultados evidencian que:

1. **Erosión Costera Predominante:** La erosión costera es el proceso dominante, especialmente durante la temporada seca, debido a una disminución del aporte sedimentario y la acción intensificada de los oleajes.
2. **Impacto de Intervenciones Antrópicas:** Estructuras como espigones y tajamares han generado alteraciones en la dinámica sedimentaria, provocando fenómenos de acumulación en algunas áreas (como Puerto Velero) y erosión en otras (como Playa Mendoza y la Ciénaga de Mallorquín).
3. **Vulnerabilidad por Cambio Climático:** El incremento del nivel del mar y las condiciones oceanográficas, combinadas con pendientes bajas y la ausencia de coberturas vegetales en áreas críticas, intensifican el riesgo de erosión.
4. **Influencia Estacional:** Las diferencias entre las temporadas húmeda y seca reflejan la interacción compleja entre los factores climáticos y los procesos costeros, con una mayor recuperación temporal de terreno durante la temporada húmeda.
5. **Zonas de Alta Vulnerabilidad:** Sectores como Puerto Colombia, Salgar y Playa Mendoza se destacan por su elevada susceptibilidad, determinada por las altas las tasas de erosión, la proximidad a la línea de costa y la ausencia de barreras protectoras.

El Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) permitió integrar estas variables, clasificando el área de estudio en rangos de vulnerabilidad que orientan hacia una gestión más eficaz de los riesgos costeros. La preservación de coberturas vegetales, la implementación de estrategias sostenibles, el monitoreo constante y la reestructuración de intervenciones antrópicas son medidas fundamentales para mitigar los impactos actuales y prevenir escenarios futuros más críticos.

- La baja resolución de variables como el oleaje y el nivel del mar crea una representación generalizada de los datos. Se sugiere emplear datos más detallados y actualizados.
- Los datos se basan en un periodo específico, lo que podría no reflejar la vulnerabilidad actual. Se recomienda actualizar el IVC regularmente para capturar cambios dinámicos en las condiciones costeras

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña-González, J., J. Vargas-Zamora, E. Gómez-Ramírez y J. García-Céspedes. 2004. Hidrocarburos de petróleo disueltos y dispersos, en cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 52(2): 43-50.
- Afanador Franco, F., Carvajal Díaz, A.F., Franco Arias, D.A., Orozco Quintero, F.J., Pacheco Gómez, J.D., and Santos Barrera, Y., (2013), Atlas Geomorfológico del Litoral Caribe Colombiano. Dimar Serie de publicaciones especiales CIOH Vol.8 . 225 pp il 34.
- Albert, C. Schröter, B. Haase, D. Brillinger, M. Henze, J. Herrmann, S. Gottwald, S. Guerrero, P. Nicolas, C. Matzdorf B. (2019) Addressing societal challenges through nature-based solutions: how can landscape planning and governance research contribute? *Landsc. Urban Plan.*, 182, pp. 12-21.
- Anaya Vásquez, Y. (2022). Evolución morfodinámica en el sector costero Santa Verónica-Salgar (Atlántico) en el periodo 1985-2020 y prospectivas a mediano plazo (2030).
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) and WEF (Water Environment Federation). 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd ed. Washington. 1400 p.
- Aramburú, C. E., & Aliaga, L. (2016). Una herramienta para priorizar: El Diagrama de Vester. Collado, S., y Corraliza, J.A. (2016). Conciencia ecológica y bienestar en la infancia. Efectos de la relación con la naturaleza. Madrid: Editorial CCS.
- ASTM D4373-21, (2002), Método de prueba estándar para la determinación rápida del contenido de carbonato de los suelos, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., et al. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169-193.
- Barat, F., de Lépinay, B. M., Sosson, M., Müller, C., Baumgartner, P. O., & Baumgartner-Mora, C. (2014). Transition from the Farallon Plate subduction to the collision between South and

- Central America: Geological evolution of the Panama Isthmus. *Tectonophysics*, 622, 145-167.
- Barreiro-Fierro, K. D., & Castro-Muñoz, G. A. 2023. Contaminación del Río Magdalena: una Revisión Documental Sobre su Situación Ambiental en el Departamento del Huila. *Erasmus Semilleros De Investigación*, 8(1), 46–51.
<https://doi.org/10.25054/2590759X.3985>.
- Barrera, Rodolfo. (2001). Memoria explicativa Geología de las planchas 16-17 Galerazamba y Barranquilla. Escala 1:100.000. Ministerio de minas y energía - INGEOMINAS.
- Bejarano, F. T., Rodelo, R. C., Solano, B. D., Lozano, J. M. M., y Mejía, Y. F. L. 2014. Análisis socioambiental de las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, en Tubará, Atlántico, Colombia. *Teoría y Praxis*, 9(Especial, Marzo 2014), 161–179.
<https://doi.org/10.22403/UQROOMX/TYPNE2014/06>.
- Bernal-Olaya, R., Mann, P., & Vargas, C. A. (2015). Earthquake, tomographic, seismic reflection, and gravity evidence for a shallowly dipping subduction zone beneath the Caribbean Margin of Northwestern Colombia.
- Blott S. J. y K, Pye. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth surface processes and Landforms*, 26(11), 1237-1248.
- Blott, S.J., P. Kenneth. (2001). GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Process and Landforms* 26: 1237–1248.
- Buchman, M.F. 2008. Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs). NOAA OR&R report 08-1 Seattle WA, office of response and restoration division, national oceanic and atmospheric administration. 34 p.
- Camargo, J. y A. Alonso. 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32: 831-849.
- Carillo-Munoz AJ, Torres-Rodriguez JM, Madrenys-Brunet N, Dronda-Ayza A. 1990. Comparative study on the survival of 5 species of dermatophytes and *Scopulariopsis brevicaulis* in beach sand under laboratory conditions. *Rev. Iberoam de Microbiol*, 7(2):36-38.
- 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

- Chigbu, P., S. Gordon, T. Strange. 2005. Fecal coliform bacteria disappearance rates in a northcentral Gulf of Mexico estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 2:309-318.
- Chuvieco, E. (2010). *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones Rialp.
- Cohen-Ballesteros, Sandra, Mendoza-Polo, Jesús, Borja-Acuña, Rafael, & Martínez-Hernández, Neis. 2013. COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LAS AVES PLAYERAS EN PUNTA ASTILLERO, ATLÁNTICO, COLOMBIA. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 17(1), 129-143. Retrieved October 21, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682013000100012&lng=en&tlng=es.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. IUCN: Gland, Switzerland, 97, 2016-2036.
- Conesa, V. 2009. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Cuarta Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, 867 p.
- Corporación Autónoma Regional Del Atlántico - C.R.A. 2022. *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de agua superficial, realizada los días 27, 29 y 30 de septiembre y 2, 3, 4, 12, 13 y 14 de octubre de 2022*. 187 p.
- Cruz, R, y Vielle, Peggy. 2024. Actualización en taxonomía, diagnóstico y tratamiento de las dermatofitosis. *Revista chilena de infectología*, 41(2), 218-224. <https://dx.doi.org/10.4067/s0716-10182024000200218>
- Dávila, W., y Silva, J. (2020). Presentación de playa: Santa Verónica. Recuperado de <https://departamentodearquitecturaydisenocuc.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/11/p3-gestion-territorial-playa-santa-veronica-willian-davila-y-jorge-silva-2020-2-1.pdf>
- Devis-Morales, A., Montoya-Sánchez, R. A., Bernal, G., & Osorio, A. F. (2017). Assessment of extreme wind and waves in the Colombian Caribbean Sea for offshore applications. *Applied Ocean Research*, 69, 10-26. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2017.09.012>
- Díaz, J.M., J. Garzón-Ferreira, y S. Zea, 1995. Los arrecifes coralinos de la isla de San Andrés: estado actual y perspectiva para su conservación. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras 7*. Bogotá. Colombia 1-150.
- Díaz-Solano, B. H., F. Torres-Bejarano, J. Mendoza-Lozano, y F. López-Mejía. 2014. Análisis socioambiental de las playas Puerto Velero y Caño Dulce en Tubará, Atlántico, Colombia.
- Duque-Caro, H. (1979). *Major Structural Elements and Evolution of Northwestern Colombia: Small Basin Margins*.

- Duque-Caro, H., 1984, Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú-San Jacinto en el noroccidente de Colombia: Boletín Geológico Ingeominas, v. 27, p. 1–29.
- El Heraldo. (2014, junio 9). Basuras y sedimentos 'ahogan' las playas. El Heraldo. Recuperado de <https://www.elheraldo.co/local/2014/06/09/basuras-y-sedimentos-ahogan-las-playas/>
- El Tiempo. (2019, diciembre 17). Santa Verónica lucha para que el mar no se trague sus playas. El Tiempo. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/colombia/barranquilla/santa-veronica-lucha-para-que-el-mar-no-se-trague-sus-playas-343808>
- El Tiempo. (2020, junio 8). Erosión costera en el Atlántico: Salvavidas para Santa Verónica llegará en junio. El Tiempo. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/colombia/barranquilla/erosion-costera-en-el-atlantico-salvavidas-para-santa-veronica-llegara-en-junio-858418>
- Escalona, A., & Mann, P. (2011). Tectonics, basin subsidence mechanisms, and paleogeography of the Caribbean-South American plate boundary zone. *Marine and Petroleum Geology*, 28(1), 8-39.
- FEE - Foundation for Environmental Education. 2023. Guía de interpretación de los criterios Bandera Azul para playas 2023. Copenhagen: FEE. 103p.
- Ferrucho-Maloof, I. E., L.J. Otero-Díaz y J.E. Cueto-Fonseca. 2022. Cambios recientes de la línea de costa entre Bocas de Ceniza y Puerto Velero (Atlántico, Colombia). *Boletín de Geología*, 44(3): 159-178.
- Flinch, J., Amaral, J., Doulcet, A., Mouly, B., Osorio, C., & Pince, J. (2003). Structure of the offshore Sinu accretionary wedge. Northern Colombia. In 8th Simposio Bolivariano-Exploracion Petrolera en las Cuencas Subandinas (pp. cp-33). European Association of Geoscientists & Engineers.
- Folk R. Y W Ward. 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-27.
- Folk, R. L. (1954). The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *The Journal of Geology*, 62(4), 344-359.
- Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. *Journal of sedimentary research*, 27(1), 3-26.
- Franco, F. Y Díaz, A. (2009). Lidar, ortofotografía digital y SIG en análisis geomorfológicos del litoral Caribe colombiano. *Boletín Científico CIOH*, (27), 112-134.

- Fuentes Delgado, J. E. (2022). La desaparición de las islas: cambios ambientales en el delta del río Magdalena desde la cartografía histórica. *Historia Y Espacio*, 18(58). <https://doi.org/10.25100/hye.v18i58.11446>
- Fuentes J., R. Patiño., P. López, J. López. 2009. Densidad de bacterias coliformes y su relación con algunas variables físico-químicas en aguas de la laguna los mártires, isla de Margarita, Venezuela. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, vol. 21, N° 2 pp. 126-132.
- García, L. (2021). Clima marítimo, procesos de erosión/acreción y amenazas/vulnerabilidades por erosión: caso de estudio de la barrera costera de Puerto Velero, Departamento del Atlántico.
- Garay, J., G. Ramírez, J.M. Betancourt, B. Marín, B. Cadavid, L. Panizzo, L. Lesmes, J.E. Sánchez, S.H. lozano y A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: Aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR. Santa Marta. 148 p.
- Garcés-Ordóñez O., Espinosa L., Pereira R., Muniz M. 2020. Impact of tourism activity on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean. *Mar Pollut Bull*, 160: 111558. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111558>.
- García, L. (2021). Clima marítimo, procesos de erosión/acreción y amenazas/vulnerabilidades por erosión: caso de estudio de la barrera costera de Puerto Velero, Departamento del Atlántico.
- Garcia, L., Portz, L., Portantiolo, R., Cantero, R., y Suarez, A. 2024. Evaluación de la calidad ambiental en playas intervenidas con espolones: playa de Sabanilla, Colombia. *Revista de Gestão Costeira Integrada*. 23. 55-69. 10.5894/rgci-n517.
- Garzón-Ferreira, J., y A. Rodríguez-Ramírez. 2010. SIMAC: Development and implementation of a coral reef monitoring network in Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 58: 67-80.
- George, C. E. (2019). Estrategia metodológica para elaborar el estado del arte como un producto de investigación educativa. *Praxis educativa*, 23 (3), 29-32.
- Gitter, A., Mena, K., Wagner, K., Boellstorff, D., Borel, K., Gregory, L., Gentry, T., y Karthikeyan, R. 2020. Riesgos para la salud humana asociados a las aguas recreativas: Preliminary Approach of Integrating Quantitative Microbial Risk Assessment with Microbial Source Tracking. *Water*, 12(2), 327. <https://doi.org/10.3390/w12020327>.

- Gómez Álvarez, J. C., y Salcedo Pabón, G. J. 2016. Evaluación de la calidad del agua en las Playas Turísticas de Puerto Colombia, Atlántico y su relación con las fuentes de contaminación.
- Gómez-Cuartas, A.; López Suárez, K. 2020. Evaluación de contaminación microbiológica antropogénica en agua de mar de la bahía de Cartagena-Bolívar durante abril a julio de 2019. Bol. Cient. CIOH; 39(1):41-52. ISSN impreso 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI: 10.26640/22159045.2020.499
- González, J., Restrepo, J. D., & Villegas, M. (2018). Monitoreo multitemporal de la línea de costa utilizando imágenes satelitales en el Caribe colombiano. Revista Geográfica Colombiana, 54(2), 87-102
- Herrera, L. 2024. Punta Astilleros: la joya del Caribe colombiano que aparece en el top 10 de las mejores playas rurales del mundo. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/colombia/barranquilla/punta-astilleros-una-joya-del-caribe-colombiano-que-aparece-en-el-top-10-de-las-mejores-playas-rurales-del-mundo-3351548#3351548>
- Himmelstoss, E.A., Henderson, R.E., Kratzmann, M.G., and Farris, A.S. (2021). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2021– 1091, 104 p.
- Ho, M., Kessouri, F., Frieder, C. A., Sutula, M., Bianchi, D., & McWilliams, J. C. (2023). Effect of ocean outfall discharge volume and dissolved inorganic nitrogen load on urban eutrophication outcomes in the Southern California Bight. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48588-2>.
- ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2007). Norma Técnica Sectorial Colombiana NTS-TS-001-2 que establece los requisitos de sostenibilidad para destinos turísticos de playa. ICONTEC, Bogotá D.C.
- ICONTEC, y Universidad Externado de Colombia. 2009. Norma Técnica NTS-TS Sectorial Colombiana. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC, (571), 20.
- IDEAM. (2014). Atlas de Vientos Colombia
- INGEOMINAS, (2010). ESTUDIO GEOMORFOLOGICO DEL SECTOR COMPRENDIDO ENTRE BOCATOCINO, ATLANTICO Y CIENAGA, MAGDALENA, INFORME FINAL DEL PROYECTO ANDEN CARIBE FASE-2
- INNOMAR, (2009). ISE 2.9 User's guide. Appendix C Simple Side Scan Processor. Germany.

- INVEMAR. (2007). Ordenamiento Ambiental de la Zona Costera del Departamento del Atlántico. Informe Final. Editado por: A. López. INVEMAR – CRA. Santa Marta. 588 p + Cartografía Anexa.
- INVEMAR. (2017). Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2016. Serie de Publicaciones Periódicas No. 30. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”
- INVEMAR. 2007. Ordenamiento ambiental de la zona costera del departamento del Atlántico. Santa Marta: A. Lopez. INVEMAR - CRA.
- INVEMAR. 2018. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Bayona-Arenas, M. y Garcés-Ordóñez, O. (Ed). 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 2017. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 336 p.+ anexos.
- INVEMAR. 2022. Análisis histórico 2001-2021 de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Paola Obando y Luisa 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. 2024. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Cusba, J, Obando, P y Espinosa, L (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 final 2023, Santa Marta. 177 p.
- INVEMAR-CRA. 2022. Monitoreo de calidad de aguas marinas y costeras en el marco de la REDCAM y evaluación de calidad ambiental del ecosistema de pastos marinos en Puerto Velero, zona costera del departamento del Atlántico. Informe Técnico de Final. Convenio 0010-2021. PRY-CAM-028-21. CRAINVEMAR. Santa Marta. 45 p.
- INVEMAR-CRA. 2023. Herramientas técnico-científicas como soporte a la gestión ambiental de la corporación autónoma regional del Atlántico– CRA en la zona costera del

departamento del Atlántico. Informe Técnico de Avance. Convenio CRA--008-2023. PRY-CAM-008-23. Santa Marta. 73 p.

INVEMAR-CRA. 2023. Monitoreo de la calidad de las aguas marinas y costeras en el marco de la REDCAM y la evaluación de la calidad ambiental de Punta Astilleros orientada hacia la restauración ecológica, zona costera del Departamento del Atlántico. Informe Técnico Final. Convenio 009-2022. PRY-CAM-021-22. CRA-INVEMAR. Santa Marta. 79 p.

INGEOMINAS, (2010). ESTUDIO GEOMORFOLOGICO DEL SECTOR COMPRENDIDO ENTRE BOCATOCINO, ATLANTICO Y CIENAGA, MAGDALENA, INFORME FINAL DEL PROYECTO ANDEN CARIBE FASE-2

Jin, G., Englands, A. J., Bradford, H., y Jeng, H. W. 2004. Comparison of E. coli, enterococci, and fecal coliform as indicators for brackish water quality assessment. Water environment research, 76(3), 245-255.

Johnson, H. P., & Helferty, M. (1990). The geological interpretation of side-scan sonar. Reviews of Geophysics, 28(4), 357-380.

Kearns y Collins, 2012. Sentimiento de la costa: el lugar de la emoción en la resistencia al desarrollo residencial. Soc. Culto. Geogr. 13 (8), 937-955.

Kellogg, J. N. (1992). Structure of the Sinu-San Jacinto fold belt—an active accretionary prism in northern Colombia. Journal of South American Earth Sciences, 5(2), 211-222.

Knox, G.A. 2001. The ecology of seashore. CRC Press. Boca Raton. 557 p.

Kovač, M., A. Palatinus, Š. Koren, M. Peterlin, P. Horvat y A. Kržan. 2016. Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis. J. Vis. Exp. (118), e55161. <https://doi.org/10.3791/55161>

Larrea-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., Romeu-Álvarez, B., Rojas-Hernández, N. M., y Heydrich-Pérez, M. 2013. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 44(3), 24-34.

Lotze, HK, 2020. Combinando amor y conocimiento para sanar el océano. Ciencias de la ética. Reinart. Polit. 20, 33-39

MADS-DELTARES-INVEMAR. 2013. A quickscan of building-with-nature solutions to mitigate coastal erosion in Colombia. Interim report. Delft, Holanda. 85 pp.

Manahan, S. 2007. Introducción a la química ambiental (primera Edición). Reverté Ediciones S. A., España. 150-152.

- Manjarrez, G., Blanco, J., González, B., Botero, C. M., y Díaz-Mendoza, C. (2019). Parásitos en playas turísticas: propuesta de inclusión como indicadores de calidad sanitaria. Revisión para América Latina. *Ecología Aplicada*, 18(1), 91-100.
- Mantilla-Pimiento, A. M., Jentzsch, G., Kley, J., & Alfonso-Pava, C. (2009). Configuration of the Colombian Caribbean Margin: Constraints from 2D seismic reflection data and potential fields interpretation. In *Subduction zone geodynamics* (pp. 247-272). Springer Berlin Heidelberg.
- Marín, J. P., Bermúdez, H. D., Aguilera, R., Jaramillo, J. M., Rodríguez, J. V., Ruiz, E. C., & Cerón, M. R. (2010). Evaluación geológica y prospectividad sector Sinú-Urabá. *Boletín de geología*, 32(1), 145-153.
- Merlotto, A. (2007). Consecuencias Socioeconómicas Asociadas a la Erosión Costera en el Balneario Parque Mar, 43, 143-160
- MinAmbiente. (2015). Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015. Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, 653 p.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2016). Plan maestro de erosión costera en Colombia. Bogotá, D.C., Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio de Salud. (1984). Usos del agua y residuos líquidos. Decreto 1594 de 26 de junio. Colombia. 52 pp.
- Molina, A., Molina, C., Giraldo, L., & Barrera, R. (1999). Características estratigráficas y morfodinámicas de la franja litoral Caribe colombiana (sector Barranquilla (Bocas de Ceniza)-flecha de Galerazamba). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 28(1), 61-94.
- Molina, A., Molina, C., Thomas, Y., & Molina, L. E. (2001). Comportamiento de la línea de costa del Caribe colombiano sector entre Barranquilla (Bocas de Ceniza) y Flecha de Galerazamba. *Boletín Científico CIOH*, (19), 68-79.
- Montealegre J., & J. Pabon. (2000) La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorol. Colomb.* 2:7-21. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.
- Moscarella, M. V., GARCÍA, F., y Palacio, C. 2011. Calidad microbiológica del agua de la bahía de Santa Marta, Colombia. *Dyna*, 78(167), 132-141.
- MADS-DELTARES-INVEMAR. 2013. A quickscan of building-with-nature solutions to mitigate coastal erosion in Colombia. Interim report. Delft, Holanda. 85 pp.

- OMS - Organización Mundial de la Salud. 1998. Guías para ambientes seguros en aguas recreativas: Cap. 5: ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DE LAS PLAYAS. Ginebra.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. 2003. Directrices para ambientes de aguas recreativas seguras. Costa y aguas frescas. Vol. 1. Ginebra. 219 p.
- Orejarena-Rondón, A.F.; Afanador-Franco, F.; Ramos de la Hoz, I.; Conde-Frías, M.; Restrepo-López, J.C. (2015). Evolución morfológica de la espiga de Galerazamba, Caribe colombiano. Boletín Científico CIOH, 33, 123-144.
<https://doi.org/10.26640/22159045.282>
- Osorio, A.F., J.C. Mesa, G.R. Bernal y R.D. Montoya. 2009. Reconstrucción de cuarenta años de datos de oleaje en el mar Caribe colombiano empleando el modelo WWIII™ y diferentes fuentes de datos. Boletín Científico CIOH, 27.
- Osorio, A.F.; Mesa, J.C.; Bernal, G.R.; Montoya, R.D. (2009). Reconstrucción de cuarenta años de datos de oleaje en el mar Caribe colombiano empleando el modelo WWIII™ y diferentes fuentes de datos. Boletín Científico CIOH, 27, 37-56.
<https://doi.org/10.26640/22159045.200>
- OSPAR, 2010. Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area. London. 84 p. https://www.ospar.org/ospar-data/1002e_beachlitter%20guideline_english%20only.pdf. ISBN 9036319739.
- Pacheco, C., Obando, P y Espinosa, L. 2024. Departamento de Atlántico. 82-84. En: INVEMAR. 2023. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. José Cusba, Paola Obando y Luisa 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 final 2023. Santa Marta. 177 p.
- Paniagua Arroyave, J. F. (2023). Evolución morfológica en la franja litoral al sur de Puerto Colombia, Atlántico, durante el siglo XX.
- Pinto Santos, Pablo. (2016). Estudio Geomorfológico en los Entornos Costeros con Mareas mediante la Extracción Automática de Líneas de Costa de Imágenes de Satélite de Resolución Media. 10.13140/RG.2.2.30449.12643.
- Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia, Potencia Mundial de la Vida ISBN: 978-958-5422-45-2

- Playas de Colombia. (n.d.). Playa Santa Verónica. Recuperado de <https://www.playasdecolombia.info/playa-santa-veronica/>
- Poveda, G. (2004). The hydro-climatology of Colombia: a synthesis from inter-decadal to diurnal timescales (in Spanish). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 28(107), 201-222
- Puleo, J.A., Pearre, N.S., He, L., Schmied, L., O'Neal, M., Pietro, L.S., Fowler, M. (2008). A Single- User subaerial beach profiler. *Journal of Coastal Research*, 24(4), 1080–1086. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.
- R Core Team. 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- Rangel Buitrago, N. (2009). Contribución antropogénica a los cambios geomorfológicos y evolución reciente de la costa Caribe colombiana. *Gestión y Ambiente*.
- Restrepo, J. C., Otero, L., Casas, A. C., Henao, A., & Gutiérrez, J. (2012). Shoreline changes between 1954 and 2007 in the marine protected area of the Rosario Island Archipelago (Caribbean of Colombia). *Ocean & Coastal Management*, 69, 133-142.
- Reyes, A. F. A., & Fontalvo, J. A. L. 2020. Calidad microbiológica del agua de las playas del sector turístico de Santa Marta, Caribe colombiano. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2020*. <https://doi.org/10.26507/ponencia.848>.
- 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
- Rodríguez Paneque, R. A., Córdova García, E. A., Franco Abreu, J. A., & Rueda Rueda, A. (2009). La Erosión en las playas del litoral de Holguín, Cuba. *Ciencias Holguín*, XV(1),1-20.[fecha de Consulta 11 de Octubre de 2024]. ISSN: . Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181517987001>
- Ruiz-Martínez, G., Rivillas-Ospina, G. D., Mariño-Tapia, I., & Posada-Vanegas, G. (2016). SANDY: A Matlab tool to estimate the sediment size distribution from a sieve analysis. *Computers & geosciences*, 92, 104-116.
- Saeed, A. M., & Fatima, A. M. (2016). Coastline extraction using satellite imagery and image processing techniques. *Red*, 600, 720.
- Sánchez-Moreno, H., Bolívar-Anillo, H. J., Villate-Daza, D. A., Escobar-Olaya, G., y Anfuso, G. 2019. Influencia de los impactos antrópicos sobre la evolución del bosque de manglar en Puerto

- Colombia (Mar Caribe colombiano). Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 15(1), 01-16.
- Sánchez-Valencia, L., A.F. Acosta-Chaparro, R. Navas Camacho, D.I. Gómez-López Y D. Alonso Carvajal. 2023. Informe BPIN Monitoreo de los arrecifes coralinos y pastos marinos de Colombia. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 99 pp.
- Seddon, N. Chausson, A. Berry, P. Girardin, C.A.J. Smith, A. Turner, B. (2020), Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. Philos. Trans. R. Soc., B, 375 (1794) Article 20190120, 10.1098/rstb.2019.0120
- Sherchan, S., Shahin, S., Alarcon, J., Brosky, H., Potter, C., y Dada, A. C. 2022. Microbial source tracking of fecal contamination in stormwater runoff. Journal of Water and Health, 20(9), 1271-1283. <https://doi.org/10.2166/wh.2022.286>.
- Strickland, J. D. H. and Parsons, T.R. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada Bulletin 157, 2nd Edition, 310 p.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios Superservicios. 2020. Informe nacional de coberturas de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo. 61 pp.
- Taboada, A., Rivera, L. A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H. & Rivera, C. (2000). Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). Tectonics, 19(5), 787-813.
- Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009). The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0-an ArcGIS extension for calculating shoreline change (No. 2008-1278). US Geological Survey.
- Toro, K. 2022. Evaluación del estado trófico en tres zonas costeras del Caribe y Pacífico colombiano en 2021. Tesis de Pregrado. Ciencias del Mar. Universidad Católica de Valencia. 50 p.
- Torres Parra, Rafael Ricardo, Luis Jesús Otero Díaz, Fernando Afanador Franco, y Leonardo Marriaga Rocha. (2008) Comportamiento del nivel del mar en el litoral Caribe colombiano. Boletín Científico CIOH No. 26, ISSN 0120-0542, 8-21
- Torres, J.G.; Botero, C.M., and Jaramillo-Velez, A., 2024. A comparison of beach profile methods from technical, operational, and economical dimensions. Journal of Coastal Research, 40(2), 257–267. Charlotte (North Carolina), ISSN 0749-0208.
- Toto, E.A., and Kellogg, J.N., 1992, Structure of the Sinu-San Jacinto fold belt—an active accretionary prism in northern Colombia: Journal of South American earth sciences, v. 5, p. 211–222

- Toro, J. Martinez, R. Arrieta, G. 2013. Métodos de evaluación de impacto ambiental en Colombia. Rev. Investigación agraria y ambiental. 4:43 – 53.
- U.S. Geological Survey (USGS). (2022) Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States: Updated Mean Projections and Extreme Water Level Probabilities Along U.S.
- Unión Europea. 2006. Directiva (UE) 2006/7/EC del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 febrero de 2006, relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/EEC. Diario Oficial de la Unión Europea, L64/37, 04 de marzo de 2006, 1- 15 p.
- Vergel, C. 2023. Evaluación del desempeño de un bioprototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas descargadas en el arroyo León en Puerto Colombia, Atlántico. Tesis de pregrado. Departamento de Química y Biología. Universidad del Norte. 188 p.
- Vernette, G. (1985). La plateforme continentale caraïbe de Colombie (du débouché du Magdalena au Golfe de Morrosquillo). Importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sédimentation. Thèse d'Etat, Université de Bordeaux. Bordeaux. 387 p
- Viloria Villegas, L. Cadavid, G. Aw ad. 2018. Metodología para evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura en Colombia. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 28 (2): 121-156
- Vivas-aguas J., Castillo Viana M., Obando-Madera P.S. 2022. Ficha Metodológica Índice de Calidad de aguas marinas y costeras ICAM. Versión 5. Santa Marta D.T.C.H., Colombia. 14.
- Vivas-Aguas, L.J., K. Ibarra, J. Sánchez, M. Martinez, Y. Nieto, Y. Moreno, I. Cuadrado, P. Obando, O. Garcés-Ordóñez, 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 del Invemar No. 4 (2015). Informe Técnico REDCAM 2014, INVEMAR, Santa Marta. 320 p.
- Vivesco. (n.d.). Santa Verónica, un destino turístico en la costa Caribe. Recuperado de <https://www.vivesco.co/santa-veronica-destino-turistico/>
- Wang, Q., Yang, J., Xu, W., Yuan, B., & He, C. 2024. A Review of Research on the Stability of Fine-Grained Sediments in Debris Flows. *Geosciences*, 14(9), 248. <https://doi.org/10.3390/geosciences14090248>
- Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.
- Yang, H., Yang, S., & Xu, K. 2017. River-sea transitions of sediment dynamics: A case study of the tide-impacted Yangtze River estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 196, 207-216. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.07.005>.

Zona Cero. (2020, diciembre 7). Marea alta en Santa Verónica y urgen la construcción de espolones para evitar desastre. Zona Cero. Recuperado de <https://zonacero.com/generales/marea-alta-en-santa-veronica-y-urgen-la-construccion-de-espolones-para-evitar-desastre>.

Zúñiga, Ó. E. O. 2018. Evaluación de la calidad microbiológica del río magdalena y su potencial uso en la provincia del alto magdalena (Cundinamarca). *Encuentro Internacional de Educación En Ingeniería* 2018. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/670>.

9 ANEXOS

Anexo 1. Plan de muestreo REDCAM Atlántico de salidas de campo del 09 al 11 de septiembre de 2024.

Anexo 2. Reporte de datos del LABCAM con datos de campo REDCAM Atlántico de la salida de campo realizada en septiembre de 2024.

Anexo 3. Reporte de datos basura marina y microplásticos en arena de playa REDCAM Atlántico 2024.

Anexo 4. Invitación a delegado CRA Curso Taller REDCAM 2024.

Anexo 5. Certificado de participación del Curso Taller REDCAM 2024.

Anexo 6. Matriz de evaluación de Impactos.

Anexo 7. Memorias de las actividades de Alfabetización oceánica realizadas.

Anexo 8. Resultados del diagnóstico de conocimiento de saberes oceánicos