

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 011 DE 2025 CRA- INVEMAR
Informe Técnico final- ITF – PRY-CAM-015-25



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

Santa Marta, diciembre de 2025



INFORME TÉCNICO FINAL

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

Programa CAM

Joel David Pacheco Perea
Tania Córdoba Meza
Jady Vanessa Rodríguez Rangel
Lizbeth Janet Vivas – Aguas
Carlos Salazar-Pérez
Juan Saldarriaga
Jair Valdes
Paola Obando
Tatiana Zapata
Cesar Bernal
Luisa Espinosa Díaz.

Apoyo Técnico

Julián Andrés Agudelo Salas

Programa BEM

Vanessa Yepes Narváez
Alejandro Rodríguez Sánchez
Edison Lea Charris
Raúl Navas Camacho
Andrés Acosta Chaparro
Shanly Coneo Gómez
Diana Isabel Gómez López
David A. Alonso Carvajal

Programa GEO

Johan Casadiego Estévez
Luisa Herrera Martínez
Sneider Barrera Santamaria
David Fernando Morales
Lorenzo Portillo
Jesica Tatiana Sanchez
Constanza Ricaurte Villota

Apoyo técnico en Campo

Juan Sebastián Ruíz Vivares

PREPARADO POR:

Equipo técnico INVEMAR

Equipo Técnico CRA

Efraín Leal Puccini
Yury Calderón Urrego
Ayari María Rojano

Foto portada: Actividades desarrolladas en la zona costera departamento del Atlántico, fotos convenio 011, 2025 CRA-INVEMAR.

Citar como:

Este informe deberá ser citado de la siguiente manera:

a) Si cita todo el informe: INVEMAR-CRA, 2025. 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. Informe técnico final. Convenio 011-2025. PRY-CAM-015-25. CRA-INVEMAR. Santa Marta. 212p.

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

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	17
2. ALCANCE DEL PROYECTO.....	18
2.1. OBJETO DEL CONVENIO	18
2.2. OBJETIVO GENERAL	18
2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS	19
4. EVALUAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS Y SEDIMENTOS MARINO-COSTEROS DEL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO, INCLUYENDO LAS VARIABLES DEL SISTEMA DE CARBONATOS EN AGUA DE PUERTO VELERO, Y BASURA MARINA Y MICROPLÁSTICOS EN ARENAS DE PLAYAS TURÍSTICAS PRIORIZADAS, Y MANTENER OPERATIVO EL NODO CRA DE LA REDCAM.	22
METODOLOGÍA.....	22
4.1.1. Calidad de aguas y sedimentos	22
Fase de campo	22
Análisis de laboratorio	25
Análisis de datos	27
4.1.2. Basura Marina y microplásticos.....	30
4.1.3. Actualización del sistema de información REDCAM.....	30
RESULTADOS.....	31
4.1.4. Calidad de aguas y sedimentos	31
4.1.5. Basura Marina y microplásticos.....	56
4.1.6. Actualización del sistema de información REDCAM.....	61
4.1.7. Curso Taller REDCAM 2025.....	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
5. IDENTIFICAR LA CONDICIÓN ACTUAL DEL ECOSISTEMA DE ARRECIFES CORALINOS EN EL SECTOR DE PUERTO VELERO Y REALIZAR UN INVENTARIO DE ESPECIES ASOCIADA AL	

ECOSISTEMA CORALINO, IDENTIFICANDO ESPECIES REGISTRADAS EN LAS LISTAS DE INVASORAS, ENDÉMICAS, EN PELIGRO, VULNERABLES ETC.	67
---	----

METODOLOGÍA.....	67
5.1.1. Estado actual de arrecifes coralinos.....	67
5.1.2. Análisis de resultados de fauna asociadas a ambientes coralino.	67
5.1.2.1. Fase de campo.....	67
5.1.2.2. Fase de laboratorio.....	69
RESULTADOS.....	74
5.1.3. Estado actual de arrecifes coralinos.....	74
5.1.4. Análisis de resultados de fauna asociadas a ambientes coralino	82
5.2.2.1 Censos visuales.....	82
5.2.2.2 Análisis moleculares	85
Barcoding de ADN de la biodiversidad recolectada	85
Detección de biodiversidad pelágica a partir del ADN ambiental.....	88
DISCUSIÓN	94
5.6. CONCLUSIONES	95

6. 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.	96
--	-----------

METODOLOGÍA.....	96
6.1.1. Zona de estudio.....	96
6.1.2. Identificación de factores de degradación	98
6.1.3. Valoración de impactos potenciales	98
6.1.4. Propuesta de medidas de prevención y protección ambiental	103
6.1.5. Sensibilización ambiental y alfabetización oceánica para la prevención y protección de los ecosistemas marino-costeros del departamento del Atlántico	107
RESULTADOS.....	108
6.1.6. Identificación de factores de degradación	108
6.1.7. Valoración de impactos potenciales	115
6.1.8. Propuesta de medidas de prevención y protección ambiental	117
6.1.9. Sensibilización ambiental y alfabetización oceánica para la prevención y protección de los ecosistemas marino-costeros del departamento del Atlántico	125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134

7. IDENTIFICAR ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (SBN) PARA LA MITIGACIÓN DE LA EROSIÓN COSTERA EN EL SECTOR ENTRE LA CIÉNAGA DE MANATÍES Y EL TAJAMAR DE BOCAS DE CENIZA.....	136
METODOLOGÍA.....	137
7.1.1. Diagnóstico integral y línea base frente a la erosión costera	137
7.1.1.1. Actualización de la caracterización física.....	137
7.1.1.2. Análisis de otros criterios para la definición de las SbN	140
7.1.2. Validación de criterios de las alternativas como SbN de manera participativa.....	140
7.1.2.1. Talleres Participativos con Actores Clave	140
7.1.2.2. Criterios de Selección Mixtos (Técnicos y Comunitarios)	141
RESULTADOS.....	142
7.1.3. Diagnóstico integral y línea base frente a la erosión costera	142
7.1.3.1. Actualización de la caracterización física.....	142
7.1.3.2. Análisis de otros criterios para la definición de las SbN	159
7.1.4. Validación de criterios de las alternativas como SbN de manera participativa.....	167
7.1.4.1. Talleres Participativos con Actores Clave	167
7.1.4.2. Criterios de Selección Mixtos (Técnicos y Comunitarios)	170
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	172
8. CARACTERIZAR LAS CORRIENTES MARINAS EN EL SECTOR DE PUERTO MOCHO (BARRANQUILLA) Y LA ENSENADA DE PUERTO VELERO (TUBARÁ).....	174
METODOLOGÍA.....	174
RESULTADOS.....	176
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	196
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	197
10. ANEXOS	212

TABLA DE FIGURAS

Figura 4-1. Ubicación con las estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento del Atlántico. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial. Los puntos bicolores (café y azul) representan las estaciones de muestreo de agua y sedimentos, los puntos bicolores (azul y rosado) corresponden a las estaciones de agua y microplásticos en arena de playa. Los puntos tricolores (azul, café y rosado) corresponden a las estaciones de agua,

sedimentos, microplásticos y basura marina en arena de playa. Los puntos amarillos corresponden a estaciones de acidificación de océanos.....23

Figura 4-2. Actividades de muestreo realizadas en la salida de campo REDCAM Atlántico 2025. Se presenta la recolección de muestras aguas y sedimentos en Urb. La Playa, Centro C. Mallorquín (A), Rincón Hondo, Ciénaga- Pto Caimán (B), Aguas abajo base naval CRA 17 (C) y Puerto Velero (D).....24

Figura 4-3. Sistema de información REDCAM (<https://siam.invemar.org.co/redcam>)31

Figura 4-4. Valores de salinidad medidos *in situ* durante la salida de campo REDCAM Atlántico en septiembre de 2025.....32

Figura 4-5. Valores de oxígeno disuelto (OD) medido *in situ* durante la salida de campo REDCAM Atlántico en septiembre de 2025.....33

Figura 4-6. Valores de pH medidos *in situ* durante la salida de campo REDCAM Atlántico en septiembre de 2025. Las líneas punteadas rojas muestran el rango de pH establecido por la legislación nacional para aguas marinas; las líneas verdes muestran el rango de pH establecido por la legislación nacional para aguas dulces (Minambiente, 2015).34

Figura 4-7. Carbono orgánico total (COT) de las muestras de agua recolectadas en septiembre de 2025 para las estaciones ubicadas en el departamento del Atlántico. LCM = Límite de cuantificación del método analítico, para COT corresponde a 0,5 mg/L.....35

Figura 4-8. 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 2025. Límite de cuantificación del método analítico, para HPDD corresponde a 0,075 µg/L.....36

Figura 4-9. Calidad de agua superficial ICAM_{PFF} para época seca (muestreo en septiembre) del 2025, en las estaciones marinas y costeras del departamento del Atlántico.38

Figura 4-10. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Atlántico durante la salida de campo del 1 al 4 de septiembre de 2025. 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 Permissible.39

Figura 4-11. Concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Atlántico durante la salida de campo del 1 al 4 de septiembre de 2025. 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.....40

Figura 4-12. 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 Permisible. V.R: Valor de referencia. ...41

Figura 4-13. Concentración de metales disueltos en agua en las estaciones de agua dulce del departamento del Atlántico, colectadas en septiembre de 2025. 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.42

Figura 4-14. A) Salinidad, B) Temperatura, C) Clorofila a ($\mu\text{g/L}$) y D) OD (mg/L) en los puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.44

Figura 4-15. CID ($\mu\text{mol/kg}$) en los puntos muestreados el 3 de septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.45

Figura 4-16. AT ($\mu\text{mol/kg}$) en los cinco puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.46

Figura 4-17. pH es escala total en los puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.47

Figura 4-18. Ω calcita en los cinco puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.48

Figura 4-19. Ω aragonita en los cinco puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.48

Figura 4-20. pCO_2 (μatm) en los cinco puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.49

Figura 4-21. Factor de Revelle en los cinco puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.50

Figura 4-22. Correlación entre el OD, Salinidad, Temperatura y silicatos con variables del sistema de carbonatos en los puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.51

Figura 4-23. Curva granulométrica de las muestras de sedimentos recopiladas en septiembre de 2025, en la estación Puerto Velero y Base Naval-17 en el departamento del Atlántico.....	52
Figura 4-24. Tamaño medio de partícula del sedimento (μm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en septiembre del año 2025, 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).....	52
Figura 4-25. 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 1 al 4 de septiembre de 2025. ..	54
Figura 4-26. Concentración de metales totales en sedimentos marino/estuarinos (P. Velero) recolectados en septiembre de 2025 (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/estuarinos. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. L.....	55
Figura 4-27. Concentración de metales totales en sedimentos fluviales (Base Naval - 17) recolectados en septiembre de 2025 (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/estuarinos. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL.....	55
Figura 4-28. Abundancia de basura marina en las playas priorizadas del departamento del Atlántico, registrada en el muestreo realizado el 4 de septiembre de 2025.....	56
Figura 4-29. Perfiles de las playas priorizadas para el muestreo de Basura Marina y Microplásticos, el 4 de septiembre de 2025, en el departamento del Atlántico. Playa Punta Astilleros (A), Playa Puerto Velero (B), Playa Salgar (C), Playa Puerto Colombia (D), Playa Caño Dulce (E), Playa Santa Verónica (F).	57
Figura 4-30. Representación de los diferentes materiales de basura marina en las playas priorizadas del departamento del Atlántico, registrados en el muestreo realizado el 4 de septiembre de 2025.....	57
Figura 4-31. Objetos y accesorios plásticos encontrados en las playas priorizadas del departamento del Atlántico, recolectados en el muestreo llevado a cabo el 4 de septiembre de 2025.	58
Figura 4-32. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playas priorizadas del Atlántico, colectadas el 4 de septiembre de 2025.	60

Figura 4-33. Porcentajes de la representación de formas identificadas en los microplásticos de las muestras de arena de playas priorizadas del Atlántico.....	61
Figura 4-34. DashBoard del avance general del flujo de datos del muestreo realizado en el departamento del Atlántico. a) Flujo de datos de muestreos a escala nacional. b) Flujo de datos a escala departamental – representación del departamento del Atlántico.	62
Figura 4-35. Módulo de consulta y descarga del muestreo realizado en el departamento del Atlántico 2025 mediante el portal SIAM EXPLORER (https://siamexplorer.invemar.org.co/).....	63
Figura 4-36. Geovisor SIAM EXPLORER: Visualización geográfica de los puntos de monitoreos del muestreo realizado en el departamento de Atlántico 2025.	63
Figura 4-37. Evidencias de realización del Curso Taller REDCAM 2025 “Mini curso teórico práctico de herramientas del sistema REDCAM para abordar los estresores marinos y costeros”, llevado a cabo el 19 y 20 de noviembre de 2025 en Santa Marta (Magdalena).	64
Figura 5-1. Mapa del área de estudio con las estaciones de recolecta de individuos y toma de muestras para ADN ambiental	68
Figura 5-2. Perfiles espectrales obtenidos de los grupos: A. Ascidiacea, B. Crustacea, C. Porifera y Cnidaria, D. Annelida y E. Echinodermata.	70
Figura 5-3. Relación del número de total de extracción, amplificación y secuencias obtenidas respecto al número total de individuos recolectados y su distribución en los diferentes grupos taxonómicos. A. Número de extracciones de ADN positivas con respecto al número total de individuos recolectados. B. Número de amplificaciones de ADN positivas con respecto al número total de extracciones de ADN positivas. C. Número de secuencias obtenidas según el total de amplificaciones de ADN positivas. D. Distribución taxonómica de las extracciones de ADN positivas. E. Distribución taxonómica de las amplificaciones de ADN positivas y F. Distribución taxonómica de las secuencias obtenidas.....	71
Figura 5-4. Resultados positivos de verificación de ADN mediante electroforesis empleando geles de agarosa al 2%. Resultados positivos de: A. cnidarios, B. anélidos, C. crustáceos y D. peces. .	72
Figura 5-5. Cobertura de los principales componentes del fondo en cada uno de los 5 transectos desplegados en la formación coralina de Puerto Velero. MASS corales masivos; ENCO, corales incrustantes; BRAN, corales ramificados; MILL corales de fuego; FALG, algas frondosas; TALG, algas de tapete; ENSP esponjas incrustantes y ERSP esponjas erectas.	75
Figura 5-6. Porcentaje de cobertura de los principales componentes del fondo en los transectos de evaluación de la formación coralina de Puerto Velero. MASS corales masivos; ENCO corales	

incrustantes; BRAN corales ramificados; MILL corales de fuego; FALG, algas frondosas; TALG, algas de tapete; ENSP esponjas incrustantes y ERSP esponjas erectas.77

Figura 5-7. Colonias de hidrocorales observados en la formación coralina de Puerto Velero. A) *Millepora squarrosa* y B) *Millepora complanata*79

Figura 5-8. Colonias coralinas de crecimiento masivo. A) *Pseudodiploria strigosa*; B) *Siderastrea siderea*; C) *Pseudodiploria clivosa* y D) *Porites astreoides*80

Figura 5-9. Colonias coralinas de crecimiento incrustante. A) *Stephanocoenia intersepta* y B) *Siderastrea radians*.80

Figura 5-10. Colonias coralinas de crecimiento ramificado. A) *Porites porites* y B) *Oculina diffusa*.81

Figura 5-11. Bioerosión observada en algunas colonias de las especies A) *Porites astreoides*, B) *Pseudodiploria clivosa* y C) *Siderastrea siderea*82

Figura 5-12. Fauna acompañante en la formación coralina de Puerto Velero. A) octoral del género *Antillologorgia* spp; B) Gusano de fuego *Hermodice carunculata*; C) Esponja erecta del género *Clathria* spp y D) erizo de espigas romas *Eucidaris tribuloides*.83

Figura 5-13. Número de especímenes por phylum registrados.85

Figura 5-14. Fotografías de ejemplares recolectados.86

Figura 5-15. Balance general del número de organismos recolectados, extracciones de ADN positivas, amplificaciones de ADN positivas y secuencias genéticas por cada grupo taxonómico.88

Figura 5-16. Distribución de phylum detectados con ADN ambiental en la ensenada de Puerto Velero.89

Figura 5-17. No de detecciones en las categorías de MOTUS y familias a través del ADN ambiental90

Figura 6-1 Área de estudio de la playa de Puerto Veleros y Caño Dulce, Tubará Atlántico.97

Figura 6-2. A) Recorrido terrestre para la identificación de factores de degradación en la playa Puerto Velero. B). Encuesta a residentes de la zona.98

Figura 6-3 Taller participativo con la comunidad de Tubará. A) Cartografía social. B) Línea de tiempo. C) Valoración de impactos y propuesta de medidas de prevención y protección ambiental. D) Foto oficial del taller realizado el pasado 06 de noviembre en Puerto Velero.... 104

Figura 6-4. Taller virtual con Instituciones para identificar factores de degradación ambientales y proponer medidas de prevención en la Playa de Puerto Velero y Caño Dulce, desarrollado el 04 de noviembre del 2025.	105
Figura 6-5. Taller presencial con Instituciones para identificar factores de degradación ambientales y proponer medidas de prevención y protección ambiental en las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, desarrollado el 4 de diciembre de 2025 en la ciudad de Barranquilla, Atlántico	106
Figura 6-6. Factores de degradación ambiental y ecosistemas identificados en las playas de Puerto Velero y Caño Dulce en el municipio de Tubará, departamento del Atlántico.....	108
Figura 6-7. Acumulación de residuos sólidos identificados en la playa de puerto velero.....	109
Figura 6-8. Quemadas identificadas en las playas de puerto velero y caño dulce.	110
Figura 6-9. Pozas sépticas identificadas en restaurantes y marina de puerto velero.	111
Figura 6-10. Tuberías de vertimientos identificadas en las playas de puerto velero y caño dulce.	111
Figura 6-11. Estructuras de protección costera artesanal identificados en la playa de puerto velero.	112
Figura 6-12. Tránsito de embarcaciones identificados en la playa de puerto velero.	113
Figura 6-13. Línea de tiempo construida de forma participativa con actores clave en las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, durante el taller de identificación y evaluación de impactos ambientales potenciales realizado el día 4 de noviembre de 2025.	114
Figura 6-14. Resultados de la evaluación de impactos ambientales en la playa de Puerto Velero y Caño Dulce, Tubará Atlántico.....	115
Figura 6-15. Resultados de la Matriz Vester de factores de degradación ambiental identificados en la playa de Puerto Velero y Caño Dulce: P1: residuos sólidos P2: quemadas; P3: vertimientos y pozas sépticas; P4: estructuras de protección costera artesanal; P5: tránsito de embarcaciones.	117
Figura 6-16. Resultados de la evaluación de los aspectos de sostenibilidad para la playa de Puerto Velero y Caño Dulce, Tubará, Atlántico, realizada en el segundo taller con instituciones realizado el 04 de diciembre en modalidad presencial.	119

Figura 6-17. Matriz DOFA de las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, Tubará Atlántico, elaborada en el segundo taller con Instituciones que se llevó a cabo el día 04 de diciembre de 2025.	120
Figura 6-6-19. Número de participantes en las actividades de Alfabetización oceánica de la estrategia Escuelas Azules en el Departamento del Atlántico en el año 2025	126
Figura 6-19. Resultados del sondeo inicial sobre la percepción y conocimiento sobre el océano aplicado a los participantes del <i>Laboratorio de Formación del saber oceánico</i> realizado el 25 de septiembre de 2025. A) Conexión con el Océano B) Nivel de conocimiento del Océano? C) Importancia del Océano para el planeta D) Conocimiento sobre los ecosistemas de arrecifes coralinos y pastos marinos.	127
Figura 6-20. Socialización de los 7 principios y 45 conceptos de la Alfabetización Oceánica y socialización del Kit de herramientas durante el Laboratorio de Formación del saber oceánico realizado el 25 de septiembre de 2025.	128
Figura 6-21. Charla sobre la importancia de los ecosistemas marinos para la biodiversidad en el departamento del Atlántico durante el Laboratorio de Formación del saber oceánico realizado el 25 de septiembre de 2025.	128
Figura 6-6-23. Stand de Alfabetización oceánica. A. IE Marie Poussepin, B.IE Francisco Javier Cisneros.	131
Figura 6-23. Stand dinámico. A. Lúdica tingo, tingo, tango en la IE Marie Poussepin. B. Lúdica memoria oceánica en la IE Francisco Javier Cisneros. C y D. Lúdicas tinto, tingo, tango y memoria oceánica con la comunidad de P. Velero.	132
Figura 6-24. A y B. Stand museo Makuriwa en las instituciones educativas. C y D. Stand museo Makuriwa en la comunidad de Puerto Velero.	133
Figura 6-25. Actividad de cierre: el pacto con el océano	134
Figura 7-1. Ruta metodológica empleada para la priorización de alternativas SbN frente a la erosión costera entre la ciénaga de Manatíes y el tajamar de Bocas de Ceniza.	137
Figura 7-2. Mapa de ubicación de los perfiles topográficos en el área de estudio.	139
Figura 7-3. Metodología para desarrollo de los talleres participativos.	141
Figura 7-4. Esquema para la toma de decisión a partir de análisis multicriterio. Adaptado de Castillo (2024).	141

Figura 7-5. Tasa de regresión lineal de la espiga litoral en la ciénaga Mallorquín, entre 2023 y 2025. Fuente del mapa base: Esri World Imagery, 2025.	142
Figura 7-6. Tasa de regresión lineal de la barra litoral de la ciénaga Mallorquín, entre 2023 y 2025. Fuente del mapa base: Esri World Imagery, 2025.	143
Figura 7-7. Tasa de regresión lineal entre la Ciénaga Mallorquín y Punta Sabanilla, entre noviembre 2023 y noviembre 2025. Fuente del mapa base: Esri World Imagery, 2025.	144
Figura 7-8. Características morfológicas y elementos relevantes identificados en la campaña de campo. a) material de relleno en la playa en el sector de Puerto Mocho; b) Redistribución del material de relleno en el sector central de Puerto Mocho; c) Escarpe erosivo en la desembocadura del arroyo León; d) sistema de dunas costeras.	145
Figura 7-9. Levantamiento con dron de zonas de interés turístico y ambiental entre la Ciénaga de Mallorquín y ciénaga de Manatíes.	146
Figura 7-10. Mapa de las tasas de cambio de Erosión (LRR) en la línea de costa del Atlántico durante la temporada seca. Fuente del mapa base: Esri World Imagery, 2025.	147
Figura 7-11. Movimiento neto de línea de costa (NSM) para el Atlántico durante temporada seca.	148
Figura 7-12. Mapa de las Tasas de Cambio de Erosión (LRR) en la Línea de Costa del Departamento del Atlántico durante la Temporada Húmeda. Fuente del mapa base: Esri World Imagery, 2025.	149
Figura 7-13. Movimiento neto de línea de costa (NSM) para para el Atlántico durante temporada húmeda.	149
Figura 7-14. Comparación de la variación de NSM para el departamento del Atlántico durante las temporadas seca y húmeda.	150
Figura 7-15. Evolución morfológica de perfiles de playa (2024 y 2025) en la barra de la ciénaga de Mallorquín.	151
Figura 7-16. Evolución morfológica de perfiles de playa (2024 y 2025) a lo largo del tramo comprendido entre el margen occidental de la desembocadura del arroyo León y Punta Sabanilla.	153
Figura 7-17. Distribución de los parámetros texturales de los sedimentos de playa recolectados en 2024 y 2025 entre la Ciénaga de Mallorquín y ciénaga de Manatíes. (a) tamaño de grano medio vs selección; (b) tamaño de grano medio vs curtosis; (c) selección vs asimetría.	155

Figura 7-18. Composición mineralógica de los sedimentos de playa entre la ciénaga de Mallorquín y ciénaga de Manatíes.	157
Figura 7-19. Comparativo del porcentaje de carbonato de calcio durante 2024 y 2025 en sedimentos de playa entre la ciénaga de Mallorquín y ciénaga de Manatíes.	158
Figura 7-20. Comparativo del porcentaje de materia orgánica durante 2024 y 2025 en sedimentos de playa entre la ciénaga de Mallorquín y ciénaga de Manatíes.	159
Figura 7-21. Desarrollo urbano para la zona de la Ciénaga de Mallorquín para el periodo 2015-2025.	160
Figura 7-22. Evolución anual de la espiga de Mallorquín entre el 2014 y 2025.	162
Figura 7-23. Ámbitos tratados por la Comisión Europea para la toma de decisión en SbN. Adaptado de Dumitru y Wendling, 2021.	164
Figura 7-24. Formulación de criterios en los artículos revisados por Adem-Esmail y Geneletti (2018).	166
Figura 7-25. Valoración de las alternativas en el taller con comunidades.	169
Figura 7-27. Valoración de las alternativas en el taller con expertos.	170
Figura 8-1. Mapa del área de estudio para la caracterización de las corrientes en Puerto Mocho. Los puntos verdes corresponden a mediciones puntuales, las líneas a los transectos.	175
Figura 8-2 Mapa del área de estudio para la caracterización de las corrientes en Puerto Velero. Los puntos verdes corresponden a mediciones puntuales, las líneas a los transectos.	175
Figura 8-3 Climatología regional de las corrientes marinas en la Cuenca Caribe colombiana entre las latitudes 10° y 12° y las longitudes -74° y -76°, obtenidas del programa Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).	177
Figura 8-4 Climatología a escala del departamento del Atlántico de las corrientes marinas entre las latitudes 10.8° y 11.2° y las longitudes -74.8° y -75.2°, obtenidas del programa Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).	178
Figura 8-5 Serie de tiempo mensual de magnitud de las corrientes marinas y línea de tendencia para el nodo cercano a Barranquilla (11.08, -74.83) (a); y a Puerto Velero (11.02, -75.09) (b), en el periodo (1993 – 2025).	179
Figura 8-6 Gráfico de caja y bigotes de la magnitud de las corrientes marinas mensuales para el nodo cercano a Barranquilla (11.08, -74.83) en el periodo (1993 – 2025).	180

Figura 8-7 Gráfico de caja y bigotes de la magnitud de las corrientes marinas mensuales para el nodo cercano a Puerto Velero (11.02, -75.09) en el periodo (1993 – 2025).....	180
Figura 8-8 Climatología de la dirección de las corrientes marinas para el nodo cercano a Puerto Velero (11.02, -75.09) en el periodo (1993 – 2025).	182
Figura 8-9 Climatología de la dirección de las corrientes marinas para el nodo cercano a Barranquilla (11.08, -74.83) en el periodo (1993 – 2025).....	183
Figura 8-10 Ubicación y trayectoria de los lances de la boya de deriva en: Puerto Mocho (septiembre) (a) y en (noviembre) (b) y Puerto Velero (septiembre) (c) y en (noviembre) (d). ...	184
Figura 8-11. Ubicación y recorridos de los transeptos T1 y T2 en Puerto Mocho, Barranquilla. Los puntos azules indican la trayectoria de las mediciones con ADCP en movimiento, y las flechas muestran la dirección general de cada recorrido.....	185
Figura 8-12. Distribución vertical de la velocidad para los dos transeptos (T1-T2) medidos en Puerto Mocho (Barranquilla) durante el día 17 de septiembre. Para cada transepto se muestran: a) la componente zonal (u), b) la componente meridional (v) y c) la magnitud de la corriente. Los colores representan la intensidad de cada componente (m/s), mientras que el fondo negro indica la topografía del fondo a lo largo de cada sección longitudinal.	186
Figura 8-13. Distribución vertical de la velocidad para los dos transeptos (T1-T2) medidos en Puerto Mocho (Barranquilla) durante el día 12 de noviembre. Para cada transepto se muestran: a) la componente zonal (u), b) la componente meridional (v) y c) la magnitud de la corriente. Los colores representan la intensidad de cada componente (m/s), mientras que el fondo negro indica la topografía del fondo a lo largo de cada sección longitudinal.	187
Figura 8-14. Serie temporal de la dirección y la magnitud de la corriente en la boca (entrada o salida hacia el mar) en el sector de Puerto Mocho (Barranquilla) para dos periodos de medición. a-b) Datos correspondientes al 17 de septiembre, donde se presentan las direcciones promedio en la columna de agua y la variación vertical de la magnitud. c-d) Descripción igual que en a-b, pero para el 11 de noviembre.	188
Figura 8-15. Ubicación y recorridos de los transeptos T1-T6 en Puerto Velero, Barranquilla. Los puntos azules indican la trayectoria de las mediciones con ADCP en movimiento, y las flechas muestran la dirección general de cada recorrido.....	189
Figura 8-16. Distribución vertical de la velocidad para los seis transeptos (T1-T6) medidos en Puerto Velero (Barranquilla) durante el día 19 de septiembre. Para cada transepto se muestran: a) la componente zonal (u), b) la componente meridional (v) y c) la magnitud de la corriente. Los	

colores representan la intensidad de cada componente (m/s), mientras que el fondo negro indica la topografía del fondo a lo largo de cada sección longitudinal. 191

Figura 8-17. Distribución vertical de la velocidad para los seis transeptos (T1-T6) medidos en Puerto Velero (Barranquilla) durante el día 14 de noviembre. Para cada transepto se muestran: a) la componente zonal (u), b) la componente meridional (v) y c) la magnitud de la corriente. Los colores representan la intensidad de cada componente (m/s), mientras que el fondo negro indica la topografía del fondo a lo largo de cada sección longitudinal. 192

Figura 8-18. Serie temporal de la dirección y la magnitud de la corriente a las afueras de Puerto Velero (Barranquilla) en el punto P3 para dos periodos de medición. a-b) Datos correspondientes al 20 de septiembre, donde se presentan las direcciones promedio en la columna de agua y la variación vertical de la magnitud. c-d) Descripción igual que en a-b, pero para el 13 de noviembre. 193

Figura 8-19. Serie temporal de la dirección y la magnitud de la corriente al interior de Puerto Velero (Barranquilla) para dos periodos de medición en el punto P2. a-b) Datos correspondientes al 20 de septiembre, donde se presentan las direcciones promedio en la columna de agua y la variación vertical de la magnitud. c-d) Descripción igual que en a-b, pero para el 13 de noviembre. 194

Figura 8-20. Serie temporal de la dirección y la magnitud de la corriente al interior de Puerto Velero (Barranquilla) para dos periodos de medición en el punto P1. a-b) Datos correspondientes al 20 de septiembre, donde se presentan las direcciones promedio en la columna de agua y la variación vertical de la magnitud. c-d) Descripción igual que en a-b, pero para el 13 de noviembre. 195

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marino-costeros del departamento del Atlántico —entre ellos manglares, pastos marinos, corales, playas y ciénagas— desempeñan un papel fundamental en el desarrollo socioeconómico y en la estabilidad ambiental de la región. Sin embargo, el aumento de actividades como el turismo y la expansión urbana han provocado una creciente degradación de la calidad de los ambientes marino costeros y de sus servicios ecosistémicos. Ante este panorama, resulta prioritario fortalecer la supervisión de las actividades antrópicas y avanzar en el diseño e implementación de estrategias efectivas de control y gestión sostenible que garanticen la conservación de estos ecosistemas vitales.

En respuesta a esta necesidad, la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA), en alianza con el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), ha consolidado un esfuerzo conjunto de carácter técnico y científico, mediante el Convenio Interadministrativo No. CV 011 de 2025; en el marco del cual, se desarrollaron acciones clave orientadas a mejorar la comprensión y gestión de los ecosistemas marino-costeros del Atlántico. Entre las actividades desarrolladas se incluyen, el monitoreo de la calidad de las aguas y sedimentos, manteniendo la operatividad del nodo Atlántico, correspondiente a la Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (REDCAM), dando continuidad al monitoreo anual o semestral que se viene realizando desde el año 2001, incluyendo además las variables del sistema de carbonatos en Puerto Velero y la evaluación de basura marina y microplásticos en playas priorizadas. Por otra parte, se realizó el análisis detallado del estado del ecosistema de arrecifes coralinos, acompañado de un inventario de especies asociadas.

Se realizó la identificación de cinco principales factores de degradación ambiental y la evaluación de 102 impactos en las playas de Puerto Velero y Caño Dulce. Este análisis permitió formular medidas preventivas orientadas a la mitigación de presiones antrópicas y definir estrategias de protección de los ecosistemas. Complementariamente, se desarrollaron actividades de alfabetización oceánica dirigidas a comunidades locales y establecimientos educativos, con el propósito de fortalecer la conciencia ambiental y la corresponsabilidad en la gestión ambiental desde edades tempranas.

Adicionalmente, se brindó acompañamiento técnico para la identificación de soluciones basadas en la naturaleza (SbN), orientadas a mitigar la erosión costera entre la Ciénaga de Manatíes y el Tajamar de Bocas de Ceniza; y se realizó la caracterización de corrientes marinas en zonas estratégicas como Puerto Mocho y la Ensenada de Puerto Velero. Estas acciones permitieron generar información actualizada y rigurosa que servirá de base para la toma de decisiones y la planificación ambiental en la zona costera del departamento de Atlántico

2. ALCANCE DEL PROYECTO

2.1. OBJETO DEL CONVENIO

Aunar esfuerzos técnicos, administrativos y financieros para realizar el monitoreo de calidad de aguas marinas y costeras en el marco de la REDCAM, análisis de ecosistemas coralinos en Puerto Velero y el acompañamiento en el diagnóstico, diseño y selección de estructuras para la mitigación de la erosión costera en la ciénaga de Mallorquín.

2.2. 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.

2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar la calidad de las aguas y sedimentos marino-costeros del departamento del Atlántico, incluyendo las variables del sistema de carbonatos en agua de Puerto Velero, y basura marina y microplásticos en arenas de playas turísticas priorizadas, y mantener operativo el nodo CRA de la REDCAM.
2. Identificar la condición actual del ecosistema de arrecifes coralinos en el sector de Puerto Velero y realizar un inventario de especies asociada al ecosistema coralino, identificando especies registradas en las listas de invasoras, endémicas, en peligro, vulnerables etc.
3. 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.
4. Identificar alternativas de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) para la mitigación de la erosión costera en el sector entre la ciénaga de Manatíes y el Tajamar de Bocas de Ceniza.
5. Caracterizar las corrientes marinas en el sector de Puerto Mocho (Barranquilla) y la Ensenada de Puerto Velero (Tubará).

3. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS

COMPONENTE	ACTIVIDADES	PRODUCTOS	AVANCE (%)	DESCRIPCIÓN BREVE DEL AVANCE
Evaluar la calidad de las aguas y sedimentos marino-costeros del departamento del Atlántico, incluyendo las variables del sistema de carbonatos en agua de Puerto Velero, y basura marina y microplásticos en arenas de playas turísticas priorizadas, y mantener operativo el nodo CRA de la REDCAM.	Realizar salida de campo para tomar variables <i>in situ</i> y recolectar muestras de agua, sedimentos, acidificación de océanos, basuras marinas 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 los días 1 y 4 de septiembre de 2025, se realizó la salida de campo, para medir variables <i>in situ</i> y coleccionar muestras para análisis de calidad de las aguas y sedimentos marino-costeros; variables del sistema de carbonatos y determinar la contaminación por basura marina y microplásticos. Las muestras de aguas y sedimentos, se coleccionaron en 18 estaciones; la basura marina y microplásticos se muestrearon en seis (6) estaciones; y el sistema de carbonatos en una (1) estación (Anexo 1 ; Anexo 2 , Anexo 3 ; Anexo 4 y Anexo 5).
	Realizar los análisis en laboratorio del agua y sedimentos recolectados.		100%	Se analizaron las muestras de aguas, sedimentos, basuras marinas y microplásticos en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM).
	Actualizar la base de datos y servicios web del sistema de información de la REDCAM		100%	Se actualizó la base de datos de la REDCAM con la información del monitoreo de calidad de aguas en el departamento del Atlántico durante el año 2025.
	Curso taller REDCAM 2025		100%	Se desarrolló el curso taller REDCAM los días 19 y 20 de noviembre de 2025. En este se capacitó a una funcionaria de la CRA (Anexo 6 ; Anexo 7).
Identificar la condición actual del ecosistema de arrecifes coralinos en el sector de puerto velero y realizar un inventario de especies asociada al ecosistema coralino, identificando especies registradas en las listas de invasoras, endémicas, en peligro, vulnerables etc.	Salida de campo para la adquisición de información primaria en la formación coralina ubicada en Puerto Velero, realizando censos visuales sobre transectos lineales a través de buceo, el muestreo incluye un inventario de la biodiversidad presente a través de observaciones, recolectas manuales y ADN ambiental y la identificación de indicadores del estado de salud y enfermedades asociadas a corales.	Documento con plan de trabajo previo a la salida de campo enviado a CRA.	100%	Se realizó una salida de campo entre el 11 y el 15 de agosto en donde se evaluó el estado de los principales componentes de fondo, priorizando el estado de los corales. Además, se registró la fauna asociada y se tomaron datos sobre su estado de vulnerabilidad y conservación.
	Evaluación de los resultados de la condición de estado y salud de la formación coralina de Puerto Velero, teniendo en cuenta el porcentaje de	Informe técnico sobre la condición actual de la formación coralina y la	100%	Se realizaron análisis de la condición y salud de los corales y estadísticas descriptivas además

COMPONENTE	ACTIVIDADES	PRODUCTOS	AVANCE (%)	DESCRIPCIÓN BREVE DEL AVANCE
	cobertura de coral vivo y macroalgas, así como el número de organismos asociados observados en campo y determinación de patrones respecto a evaluaciones en años previos.	descripción de la biodiversidad asociada en el sector de Punta Velero		de tablas de especies y se redactó el documento correspondiente.
	Identificación de la biodiversidad asociada a las formaciones coralinas a partir de morfología y biología molecular y subsecuente análisis de la comunidad biótica se realizará por medio de índices ecológicos y riqueza de especies.	1. Constancia de depósito de los especímenes recolectados en las colecciones de referencia del Museo de historia Natural Marino de Colombia-MAKURIWA y el Sistema de información en Biodiversidad Marina de Colombia-SIBM, nodo marino del SIB Colombia. 2. Listado de secuencias genéticas ingresadas en la base de datos del BOLDSYSTEMS.	100%	Se realizaron análisis de la condición y salud de los corales y estadísticas descriptivas además de tablas de especies y se redactó el documento correspondiente.
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 como acciones de protección ambiental.	Identificación de factores de degradación, valoración de potenciales impactos y propuesta de medidas de prevención y protección ambiental	Capítulo con los factores de degradación identificados en zonas priorizadas y la propuesta de medidas de prevención y protección ambiental	100%	Se identificaron los factores de degradación y sus impactos en las playas de Puerto Velero y Caño Dulce. El análisis participativo logró fortalecer la gestión ambiental comunitaria e institucional. El desarrollo de los talleres permitió proponer medidas de prevención y estrategias de protección ambiental en la zona de estudio.
	Estrategia de Alfabetización Oceánica “Escuelas Azules” en el departamento del Atlántico	Memorias de las actividades de Alfabetización oceánica realizadas.	100%	Se realizó un laboratorio de formación de saberes oceánicos con docentes y tres semilleros de cultura oceánica con participación de la comunidad, estudiantes y docentes de primaria y secundaria de los municipios de Barranquilla, Puerto Colombia y Tubará (Anexo 10).
Soluciones basadas en la naturaleza (SbN) para la mitigación de la erosión costera en el sector entre la ciénaga de manatíes y	Diagnóstico integral y línea base frente a la erosión costera.	Avances en las actividades de soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) para la	100%	Se realizó 1 salida de campo para el levantamiento de perfiles de playa, línea de costa, imágenes aéreas con dron y muestras de sedimentos.

COMPONENTE	ACTIVIDADES	PRODUCTOS	AVANCE (%)	DESCRIPCIÓN BREVE DEL AVANCE
el tajar de bocas de ceniza.		mitigación de la erosión costera en el sector entre la ciénaga de Manatíes y el tajar de Bocas de Ceniza.		Se actualizó y analizó la evolución costera a nivel departamental en el periodo 2013-2025
	Validación de criterios de las alternativas como SbN de manera participativa.	Base de datos geográfica y alfanumérica correspondiente a la información recolectada en campo y procesada para el componente de erosión costera.	100%	Se aplicó una evaluación multicriterio para la priorización de alternativas SbN. Se llevaron a cabo 2 talleres participativos con actores clave, incluyendo comunidades locales y el personal técnico.
Caracterización de las corrientes marinas en el sector de puerto mocho (Barranquilla) y la ensenada de puerto velero (Tubará).	Salidas de campo (2) para la recolección de datos de corriente en la zona de Puerto Mocho y Puerto Velero Análisis de información primaria y secundaria de corrientes en la zona de interés para descripción del patrón general de las corrientes y elaboración de informe	Informe técnico con la caracterización de las corrientes marinas en el sector de Puerto Mocho (Barranquilla) y la Ensenada de Puerto Velero (Tubará).	100%	Base de datos geográfica y alfanumérica correspondiente a la información recolectada en campo y procesada para la caracterización de corrientes marinas para todo el periodo de estudio. Informe con la caracterización de las corrientes marinas en el sector de Puerto Mocho (Barranquilla) y la Ensenada de Puerto Velero (Tubará).

4. EVALUAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS Y SEDIMENTOS MARINO-COSTEROS DEL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO, INCLUYENDO LAS VARIABLES DEL SISTEMA DE CARBONATOS EN AGUA DE PUERTO VELERO, Y BASURA MARINA Y MICROPLÁSTICOS EN ARENAS DE PLAYAS TURÍSTICAS PRIORIZADAS, Y MANTENER OPERATIVO EL NODO CRA DE LA REDCAM.

Preparado por: *Carlos Mario Salazar Pérez, Juan Fernando Saldarriaga Vélez, Jair José Valdes Carrascal, Paola Sofía Obando Madera, Yurley Tatiana Zapata Rey, Cesar Augusto Bernal, Luisa Fernanda Espinosa Díaz.*

METODOLOGÍA

4.1.1. Calidad de aguas y sedimentos

Fase de campo

En el marco del Programa Nacional de Monitoreo para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (REDCAM) y atendiendo a los compromisos establecidos en el plan operativo del convenio 0011 del 2025, suscrito entre la CRA y el INVEMAR, se efectuó la salida de campo entre los días 1 y 4 de septiembre de 2025. El muestreo fue realizado por personal del INVEMAR con acompañamiento de Yury Calderón Urrego, contratista de la CRA, acorde a lo establecido en el plan de muestreo ([Anexo 1](#)). Cabe mencionar que el muestreo contó con acompañamiento policial y guardia costera en algunos sitios.

En el departamento del Atlántico, las 18 estaciones REDCAM están distribuidas en los municipios de Barranquilla, Puerto Colombia, Tubará, Juan De Acosta y Piojó (Figura 4-1). Durante la salida de campo, se hicieron mediciones de variables *in situ* en el agua superficial de las 18 estaciones de muestreo, haciendo uso de equipos portátiles previamente calibrados (Tabla 4-1); adicionalmente, en cada estación se tomaron muestras de agua superficial y en dos estaciones se tomaron sedimentos (Figura 4-2). En Puerto Velero se llevó a cabo la medición de variables del sistema de carbonatos para determinar acidificación de océanos-

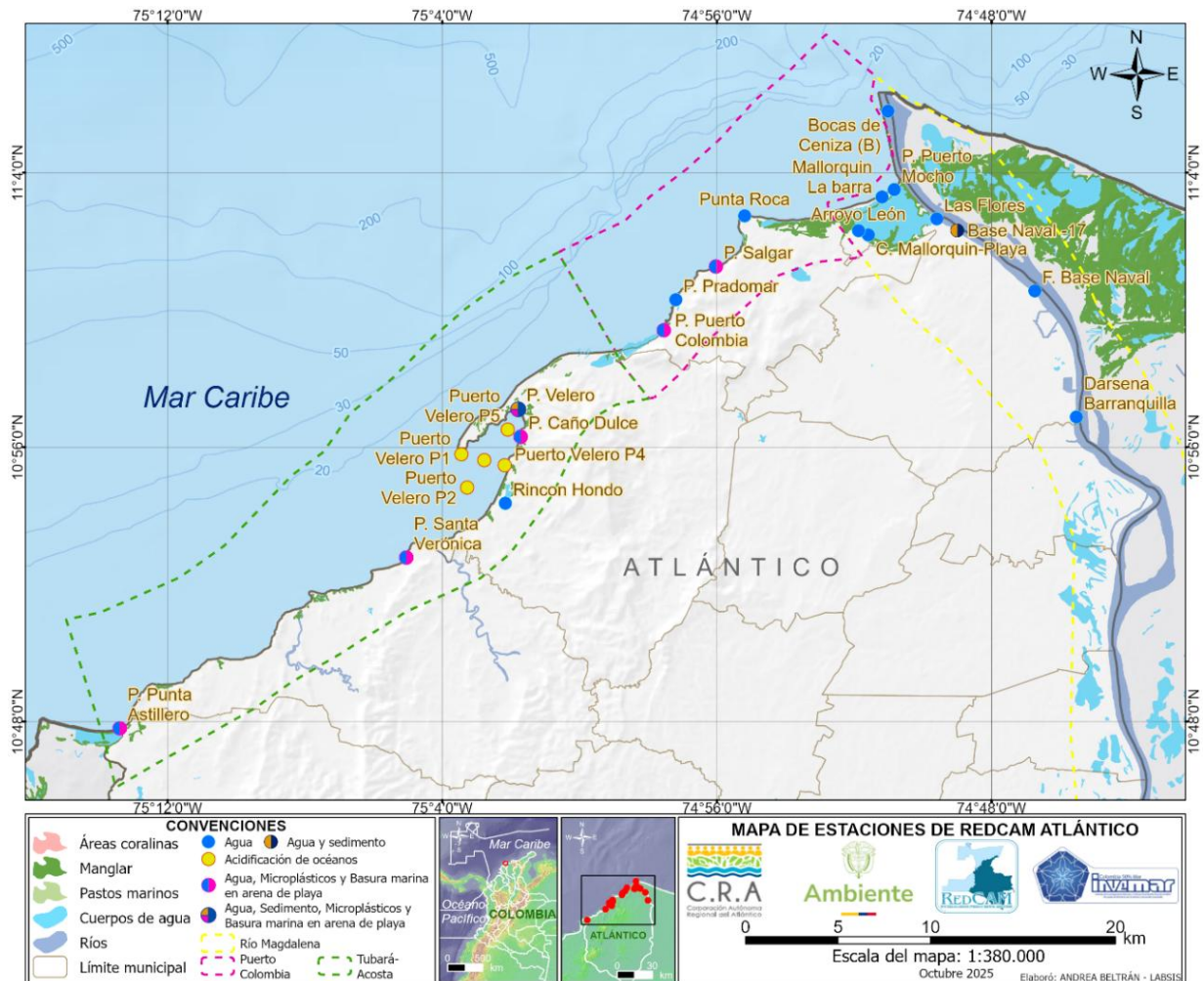


Figura 4-1. Ubicación con las estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento del Atlántico. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial. Los puntos bicolors (café y azul) representan las estaciones de muestreo de agua y sedimentos, los puntos bicolors (azul y rosado) corresponden a las estaciones de agua y microplásticos en arena de playa. Los puntos tricolors (azul, café y rosado) corresponden a las estaciones de agua, sedimentos, microplásticos y basura marina en arena de playa. Los puntos amarillos corresponden a estaciones de acidificación de océanos.

Tabla 4-1. Metodologías empleadas para el análisis de las variables fisicoquímicas medidas in situ.

Tipo de variable	Nombre de la variable	Método	Unidad de 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	Electrométrico	Unidad	Standard Methods N° 4500-H B
	Conductividad	Electrométrico	ms/cm	Standard Methods N° 2510 B
	Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno	Método óptico por luminiscencia	mg/L % O ₂	ISO 17289:2014
	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 2025. Se presenta la recolección de muestras aguas y sedimentos en Urb. La Playa, Centro C. Mallorquín (A), Rincón Hondo, Ciénaga- Pto Caimán (B), Aguas abajo base naval CRA 17 (C) y Puerto Velero (D).

El muestreo de basura marina y microplásticos se realizó en seis (6) playas priorizadas. En cada estación se tomaron muestras de arena superficial, siguiendo la metodología adaptada por el INVEMAR ([Hidalgo-Ruz et al., 2018](#), [Garcés-Ordóñez et al., 2021](#)) y teniendo en cuenta la estandarización del protocolo de monitoreo de microplásticos, en marco de la Red de Investigación de Estrés Marinos – Costeros en Latinoamérica y El Caribe – REMARCO ([Alonso-Hernández et al., 2024](#)). En cada playa, se delimitó un transecto en la línea de pleamar, donde se establecieron cinco cuadrantes de 3 x 3 m para tomar muestras de basura marina (macrobasura) y cinco subcuadrantes de 0,25 x 0,25 m donde se colectó arena para cuantificación de microplásticos (<5 mm) en laboratorio y Figura 4-2D).

Análisis de laboratorio

Las muestras de agua y sedimento recolectadas, y debidamente preservadas, fueron trasladadas a las instalaciones de la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR, en donde se realizaron los análisis para la determinación de las variables fisicoquímicas, microbiológicas, contaminantes orgánicos, metales pesados y del sistema de carbonatos, siguiendo los procedimientos y métodos estandarizados establecidos por el Laboratorio, los cuales se describen en la Tabla 4-2. Para el análisis de las variables del sistema de carbonatos se midieron alcalinidad total, carbono inorgánico disuelto, temperatura y salinidad, y las concentraciones de ortofosfatos y silicatos también cuantificados previamente, se calcularon los grados de saturación de omega aragonita (Ω_{Arag}) y omega calcita (Ω_{Cal}), la presión parcial de CO_2 (pCO_2), el pH a escala total y el factor de Revelle. La estimación de dichas variables se realizó empleando el paquete público de Excel - CO2sys V2.1 ([Pierrot et al., 2012](#)).

Tabla 4-2. 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 (APHA et al., 2023)
	Turbidez	Medición Nefelométrica con turbidímetro	NTU	Standard Methods N°2130B (APHA et al., 2023)
	Amonio, Nitritos, Fosfatos	Colorimetría	µg/L	Strikland, J. & Parsons, T. 1972
	Nitratos	Reducción con cadmio y determinación espectrofotométrico	µg/L	Strikland, J. & Parsons, T. 1972
	Silicatos	Espectrofotométrico	µg/L	Método KORLEFF, Manual 12 (UNESCO/COI, 1983)
	Clorofila a	Método tricromático por Espectrofotometría	µg/L	Standard Methods N° 10150 B (APHA et al., 2023)
	Fósforo total	Digestión con persulfato de potasio y cuantificación colorimétrica de ácido ascórbico	µg/L	Strikland & Parsons, 1972 Standard Methods N° 4500-P B (APHA et al., 2023)
	COT	Combustión catalítica y determinación por analizador de carbono total	mg/L	Standard Methods N° 5310 B Matriz Agua (APHA et al., 2023)

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
	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 (APHA et al., 2023)
	COT	Oxidación seca de carbono y cuantificación por analizador de carbono TOC	%	NTC-ISO 11464:2022, NTC 5403 Método A:2021 (ICONTEC 2022; 2021) Matriz Sedimento
	Granulometría	Método gravimétrico y análisis por difracción láser	%	ISO 13320, 2009
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:1996 , EPA 3620C:1996 , EPA 8270E:2018 Matriz Sedimento: EPA 3546:2007 , EPA 3620C:2014 , EPA 8270E:2018
Hidrocarburos	HPDD: Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno	Matriz Agua: Extracción líquido-líquido con diclorometano y determinación fluorométrica.	µg/L	Matriz Agua: Manual N° 13, (UNESCO/COI, 1984)
	HAP: Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Matriz Sedimento: Extracción microondas, Limpieza con sílica gel y cuantificación por GC-MSD	ng/g	Matriz Sedimento: EPA 3540C:1996 , EPA 8270D: 2014
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 (APHA et al., 2023)
	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 (APHA et al., 2023)
	Mercurio	Filtración, posterior descomposición térmica, amalgamación y cuantificación por espectrometría de absorción atómica.	µg/L	EPA 7473, 2007
	Mercurio Total en peso seco	Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica.	ng/g	EPA 7473, 2007
	Cromo hexavalente (Cr VI)	Colorimetría	µg/L	Standard Methods N° 3500-Cr B (APHA et al., 2023)
Microbiológicos	Coliformes Totales	Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL NPM/10 g	Standard Methods N° 9221 B (APHA et al., 2023)
	Coliformes Termotolerantes	Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL NMP/10 g	Standard Methods N° 9221 E (APHA et al., 2023)
	Enterococos fecales, <i>Escherichia coli</i>	Filtración por membrana	UFC/ 100 mL UFC/10 g	Matriz Agua: ISO 7899:2:2000 Matriz sedimento: ISO 7899-2-2000 modificado

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
	Vibrio	Filtración por membrana e identificación API 20 E	Presencia, Ausencia UFC/g	Standard Methods 9278 B modificado (APHA et al., 2023)
Química de carbonatos	Alcalinidad Total	Titulación potenciométrica en celda abierta	μmol/kg	Bernal et al., 2021a
	Carbono Inorgánico Disuelto	Analizador de carbono inorgánico con detección de infrarrojo (LICOR 7000) automatizado (AIRICA por sus siglas en inglés)	μmol/kg	Bernal et al., 2021b

Análisis de datos

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 determinó por medio de la aplicación del Índice de Calidad Ambiental Marina – ICAM. El ICAM usa las variables descritas en la Tabla 4-3, las cuales representan según sus valores de aceptación o rechazo una calidad o condición del agua en función de criterios nacionales o de valores de referencia internacionales (Vivas-Aguas y Córdoba-Meza, 2025).

Tabla 4-3. 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. Carbono Orgánico Total (COT)	6. Carbono Orgánico Total (COT)
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 de la $ICAM = \left(\prod_{j=1}^m x_j^{w_j} \right)^{\frac{1}{\sum_{j=1}^m w_j}}$ $1 \leq j = 1 \dots m$

Ecuación 1. Información adicional sobre el proceso metodológico para el cálculo se pueden consultar la ficha metodológica y el documento metodológico del ICAM en <https://icam-invemar.opendata.arcgis.com/> (Vivas-Aguas y Córdoba-Meza, 2025; Vivas-Aguas et al., 2025).

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

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

$$ICAM =$$

$$\left[(X_{OD})^{0,16} \times (X_{pH})^{0,12} \times (X_{SST})^{0,13} \times (X_{COT})^{0,13} \times (X_{CTE})^{0,14} \times (X_{HPDD})^{0,12} \times (X_{NO3})^{0,09} \times (X_{PO4})^{0,13} \right]^1 / \sum_{j=1}^m w_j$$

El ICAM_{PFF} se aplicó en las estaciones que cumplían con un mínimo de seis (6) parámetros para su cálculo y el tipo de agua según su salinidad (marina o estuarina). Los resultados de la categoría de calidad del agua arrojados por el ICAM_{PFF}, permiten proponer alternativas de manejo, mediante las cuales se puede reducir o mitigar el impacto sobre el ecosistema que esté siendo afectado (Tabla 4-4). Un mayor detalle del ICAM puede consultarse en la hoja metodológica del indicador, publicada en la página electrónica de la operación estadística (<https://icam-invemar.opendata.arcgis.com/>).

Tabla 4-4. 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.

La calidad del agua para uso recreativo, en las estaciones asociadas al turismo y actividades de baño, se determinó mediante el cálculo del 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). 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 Ecuación 2.

$$\text{Cumplimiento (\%)} = \frac{\text{Número de muestras que cumplieron con el límite permisible}}{\text{Total de muestras recopiladas}}$$

Ecuación 2

El nivel de cumplimiento fue calculado a través de una escala de valoración establecida en rangos porcentuales (Tabla 4-5). Los porcentajes de las concentraciones fueron representados en un mapa de calor y los valores de concentraciones de Coliformes Termotolerantes, Coliformes totales y Enterococos fecales, fueron transformadas a escala logarítmica y llevadas a un gráfico de burbujas. En ambos casos se empleó la librería ggplot2 ([Wickham, 2016](#)), en el entorno de programación RStudio ([R Core Team, 2012](#)).

Tabla 4-5. 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).

A partir de la granulometría medida en el laboratorio, se estimó en el software Microsoft Excel el tamaño promedio de partícula de los sedimentos y su clasificación utilizando el método de Folk & Ward ([1957](#)). La calidad de los sedimentos se determinó mediante el análisis de las concentraciones de CTE, CTT y EFE. Adicionalmente, por medio de las concentraciones de metales totales, las cuales se compararon con los valores de referencia para efectos crónicos o agudos establecidos por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), los cuales están discriminados por tipo de sedimento (marino o dulceacuícola) ([Buchman, 2008](#)). Los análisis fueron representados en gráficos de barras, empleando la librería ggplot2 ([Wickham, 2016](#)), en el entorno de programación RStudio ([R Core Team, 2012](#)).

Los análisis gráficos de las variables del sistema de carbonatos y las correlaciones, se realizaron empleando el entorno de programación de Python ([Python Software Foundation, 2023](#)) y el análisis de información se realizó con base en referencias bibliográficas de estudios recientes sobre acidificación de océanos y sus variables asociadas.

4.1.2. Basura Marina y microplásticos

Las muestras para los análisis de basura marina y microplásticos recolectadas en ecosistemas de playa priorizados del departamento del Atlántico, se caracterizaron y clasificaron en el laboratorio en las categorías, plástico, metal, vidrio, papel-cartón y otros ([OSPAR, 2010](#)). Las muestras de arena de playa para microplásticos fueron procesadas siguiendo el protocolo de monitoreo de microplásticos de la red REMARCO ([Alonso-Hernández et al., 2024](#)) el cual contempla etapas de secado, tamizado, separación por densidad y digestión de la materia orgánica. Las posibles 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., 2021](#); [Kovač et al., 2016](#)). Las unidades para la concentración de basura marina y microplásticos se expresaron en ítems/m² ([Anexo 2, 3](#)).

4.1.3. Actualización del sistema de información REDCAM

Los datos de calidad de aguas y sedimentos reportados por el LABCAM del INVEMAR ([Anexo 4](#)), son revisados, verificados y validados para su ingreso en el sistema de información REDCAM. La actualización de sistema de información REDCAM es una labor permanente para mantener el sistema operativo, de forma que se puedan consultar los servicios, tales como módulo de estadísticas, geovisor de cartografía, consulta de datos, cálculo y visualización del índice de calidad de las aguas marinas y costeras– ICAM (Figura 4-3).

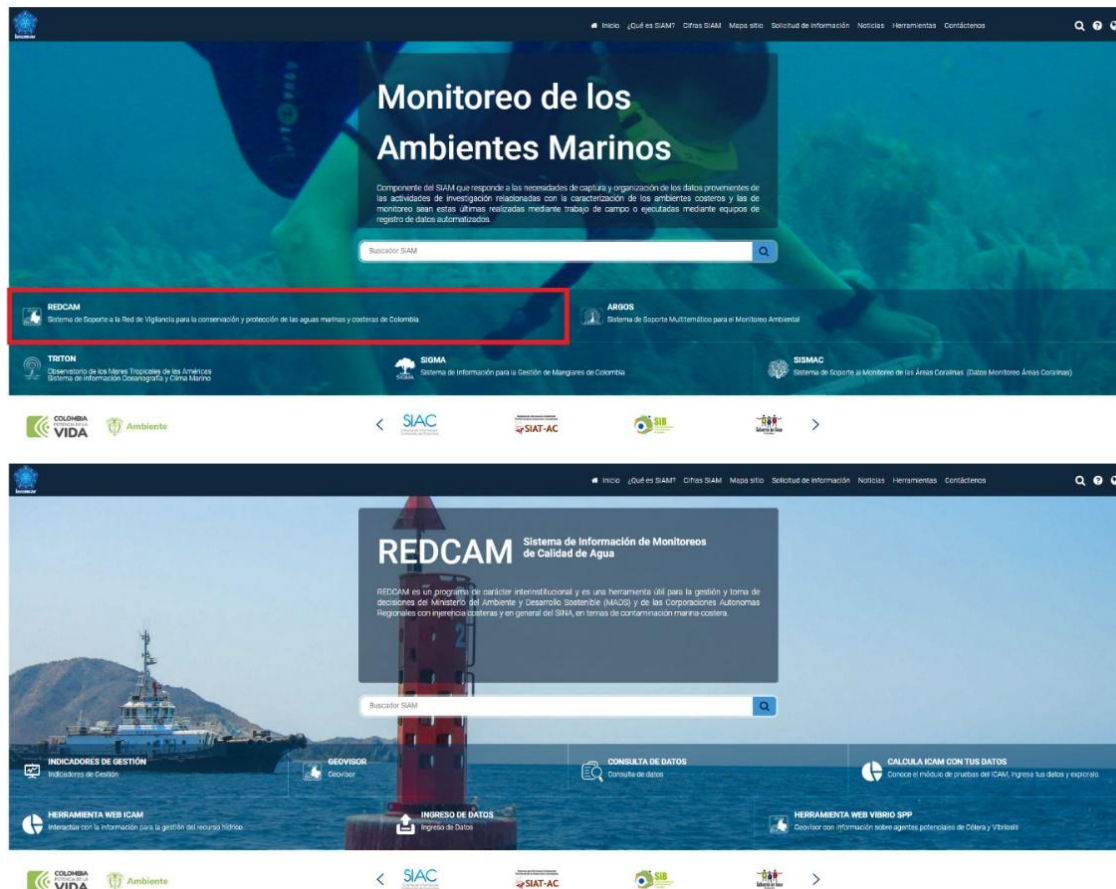


Figura 4-3. Sistema de información REDCAM (<https://siam.invemar.org.co/redcam>)

RESULTADOS

4.1.4. Calidad de aguas y sedimentos

Salinidad

La salinidad del agua superficial de las estaciones ubicadas en la zona río Magdalena (Bocas de Ceniza (B), Las Flores, Base Naval – 17, F. Base Naval y Darsena Barranquilla) fue cero (0), con excepción de las estaciones C. Mallorquín-Playa, Arroyo León, C. Mallorquín-La Barra y P. Puerto Mocho E1, las cuales presentaron salinidades características de aguas marinas (entre 33,3 y 34,5). Esto puede obedecer a la influencia que tiene la marea al conectar el mar con el sistema lagunar y las zonas próximas a la misma, ocasionando un aumento de la salinidad en este ecosistema; comportamiento que ha sido documentado desde el año 2021 particularmente para las estaciones Arroyo León y C. Mallorquín-Playa ([INVEMAR-CRA, 2024](#); [INVEMAR, 2023, 2022](#)). El valor máximo de salinidad (36,9) se registró en la estación de Rincón Hondo, la cual se

caracteriza por presentar las mayores fluctuaciones históricas de salinidad en el departamento ([INVEMAR, 2024](#)). De acuerdo con la clasificación de las aguas por salinidad de Knox ([2001](#)), en el muestreo realizado en septiembre 2025, el 72,2% de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico correspondieron a agua marina y el 27,8% correspondió a agua fluvial (dulce) (Figura 4-4).

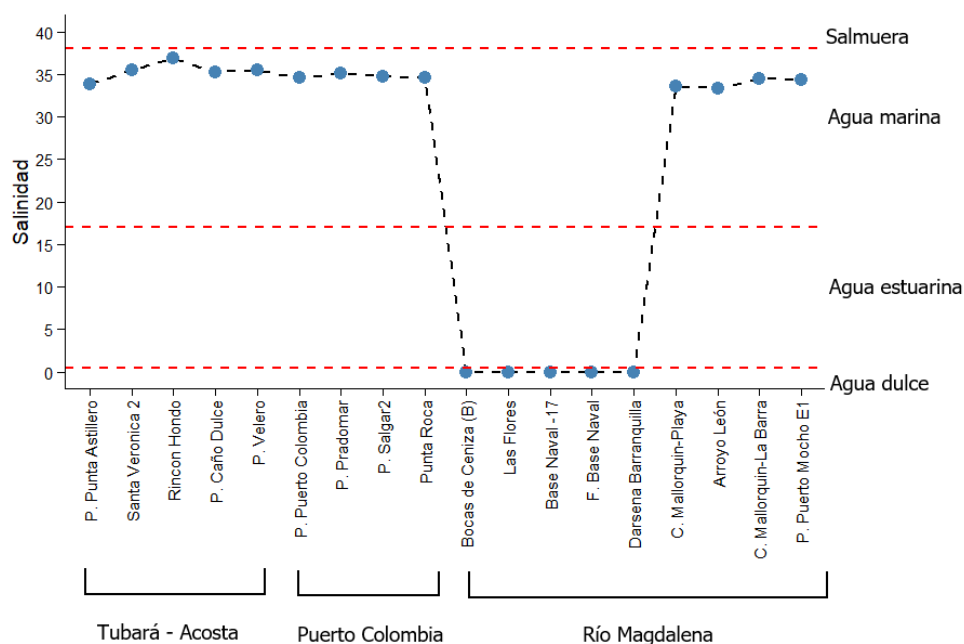


Figura 4-4. Valores de salinidad medidos *in situ* durante la salida de campo REDCAM Atlántico en septiembre de 2025.

Oxígeno Disuelto

En el muestreo de septiembre del 2025 las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) oscilaron entre 1,4 y 7,1 mg/L (Figura 4-5). En la mayoría de las estaciones las concentraciones de OD estuvieron por encima del valor mínimo establecido por la legislación colombiana para la preservación de la flora y fauna acuática (4,0 mg/L, [MinAmbiente, 2015](#)). No obstante, en la estación F. Base Naval, se registró una concentración de 1,4 mg/L. Este comportamiento se ha reportado en años previos para la estación, llegando incluso a presentar valores de OD inferiores a 1 mg/L en los años 2021, 2018, 2017, 2016, 2015, 2014, 2013 y 2012 ([INVEMAR, 2024](#)). El OD es una variable indicadora de condiciones adecuadas o inadecuadas para la preservación de flora y fauna, por lo que el seguimiento de estas mediciones, especialmente en F. Base Naval, es crucial para alertar a cerca de la disminución drástica de las concentraciones de oxígeno disponible para los organismos aerobios, que eventualmente podrían conducir a mortandades masivas ([Espinosa-Díaz et al., 2021](#); [Camargo y Alonso, 2006](#); [Manahan, 2007](#)).

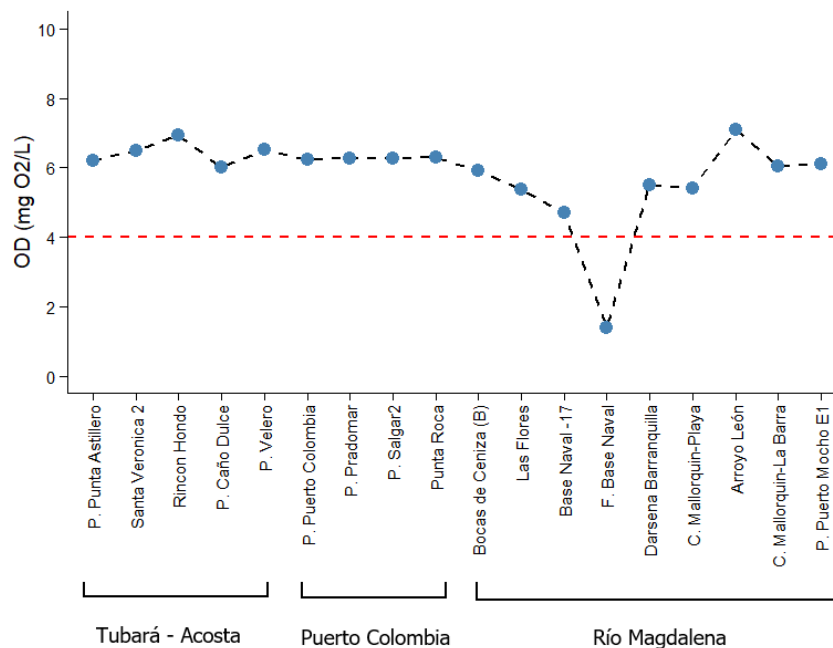


Figura 4-5. Valores de oxígeno disuelto (OD) medido *in situ* durante la salida de campo REDCAM Atlántico en septiembre de 2025.

pH

El pH del agua superficial de las estaciones con agua tipo dulce en las estaciones ubicadas en el Río Magdalena (Boca de Ceniza (B), Las Flores, Base Naval -17, F. Base Naval, Dársena Barranquilla) 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](#)). De igual manera, en las estaciones C. Mallorquín-La Playa, Arroyo León, C. Mallorquín – La Barra y P. Puerto Mocho E1, clasificadas como marinas, así como el de las estaciones ubicadas en la zona Tubará-Acosta (P. Punta Astillero, Santa Verónica 2, Rincón Hondo, P. Caño Dulce y P. Puerto Velero) y Puerto Colombia (P. Puerto Colombia, P. Pradomar, P. Salgar y Punta Roca), el pH fluctuó dentro de los valores óptimos para la preservación de la flora y fauna para aguas marinas (6,5 – 8,5; [MinAmbiente, 2015](#)) (Figura 4-6).

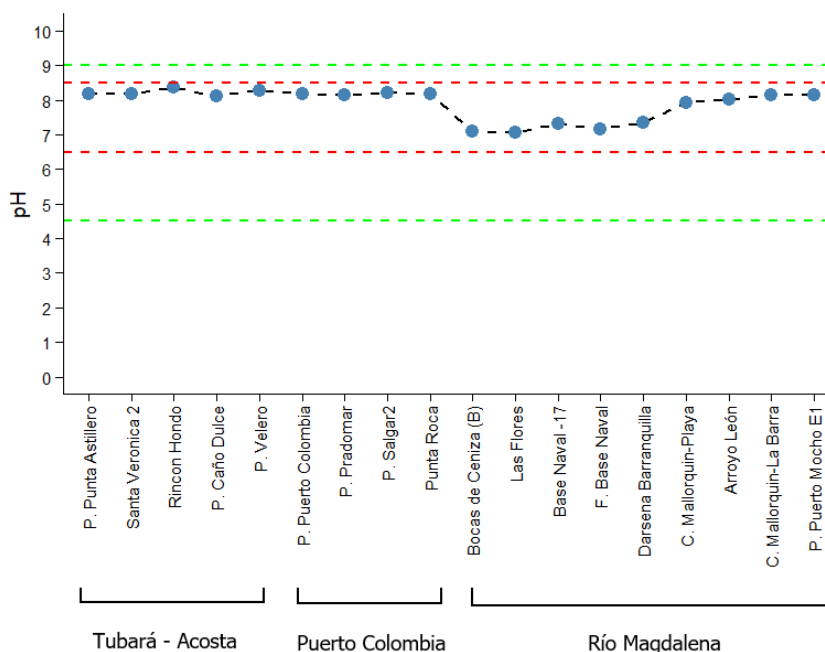


Figura 4-6. Valores de pH medidos *in situ* durante la salida de campo REDCAM Atlántico en septiembre de 2025. Las líneas punteadas rojas muestran el rango de pH establecido por la legislación nacional para aguas marinas; las líneas verdes muestran el rango de pH establecido por la legislación nacional para aguas dulces ([Minambiente, 2015](#)).

Carbono Orgánico Total

El Carbono Orgánico Total (COT) en agua superficial para la mayoría de las estaciones fluctuó entre 0,68 y 15,2 mg/L (Figura 4-7). En las estaciones P. Punta Astillero, Santa Verónica 2, P. Caño Dulce, P. Velero, P. Puerto Colombia, P. Pradomar, P. Salgar2 y P. Puerto Mocho E1, los registros estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico (LCM = 0,5 mg/L) empleado en el LABCAM INVEMAR. La concentración más alta se registró en Rincón Hondo (15,2 mg/L), valor más alto al registrado el año 2024 (4,81 mg/L), pero un comportamiento similar a los reportados en los años 2022 (18,0 mg/L) y 2023 (17,8 mg/L) para los meses con condiciones climáticas de época seca ([INVEMAR-CRA, 2024](#); [INVEMAR, 2024](#), [2023](#)). Esta situación en Rincón Hondo se atribuye a posibles aportes de materia orgánica natural en descomposición, como consecuencia de residuos vegetales aledaños o sumergidos ([INVEMAR, 2023](#)) y coincide con lo descrito por Blanco-Muñoz *et al.* ([2020](#)), quienes destacan que, en la Ciénaga de Puerto Caimán (rodeada por una vegetación de manglar), se vienen presentando acciones aceleradas de deforestación con fines de producción de carbón vegetal y preparación de tierras para actividades agrícolas y ganaderas. Por otro lado, en las estaciones ubicadas en las zonas Puerto Colombia y Río Magdalena, las concentraciones de COT estuvieron entre 0,68 y 3,55 mg/L.

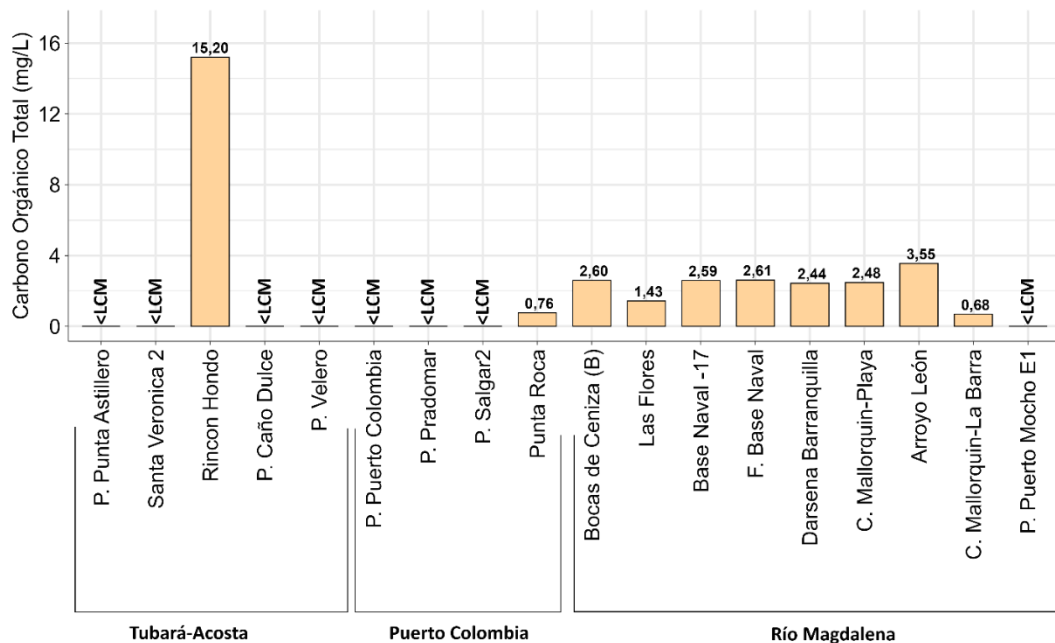


Figura 4-7. Carbono orgánico total (COT) de las muestras de agua recolectadas en septiembre de 2025 para las estaciones ubicadas en el departamento del Atlántico. LCM = Límite de cuantificación del método analítico, para COT corresponde a 0,5 mg/L.

Hidrocarburos del Petróleo Dispersos y Disueltos equivalentes de Criseno (HPDD)

En el muestreo de septiembre del 2025, el 62 % de las estaciones muestreadas presentó concentraciones de HPDD por debajo del límite de cuantificación del método analítico empleado por LABCAM INVEMAR (LCM = 0,075) (Figura 4-8). El valor máximo fue reportado para F. Base Naval con 5,16 $\mu\text{g/L}$, el cual se encuentra dentro del rango de referencia para aguas costeras con contaminación baja por petróleo ($>5 <10 \mu\text{g/L}$; [Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-González et al., 2004](#)). Cabe mencionar que históricamente esta estación se ha caracterizado por presentar las mayores concentraciones de HPDD del departamento, comportamiento que se asocia a la alta actividad portuaria existente en la zona del río Magdalena ([INVEMAR, 2023](#); [Vivas-Aguas et al., 2014](#)). En las demás estaciones se registraron concentraciones de HPDD que oscilaron entre 0,082 y 0,39 $\mu\text{g/L}$, las cuales se encuentran por debajo de los valores de referencia para aguas costeras con contaminación baja ($>5 <10 \mu\text{g/L}$) y aguas marinas contaminadas ($>10 \mu\text{g/L}$) ([Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-González et al., 2004](#)).

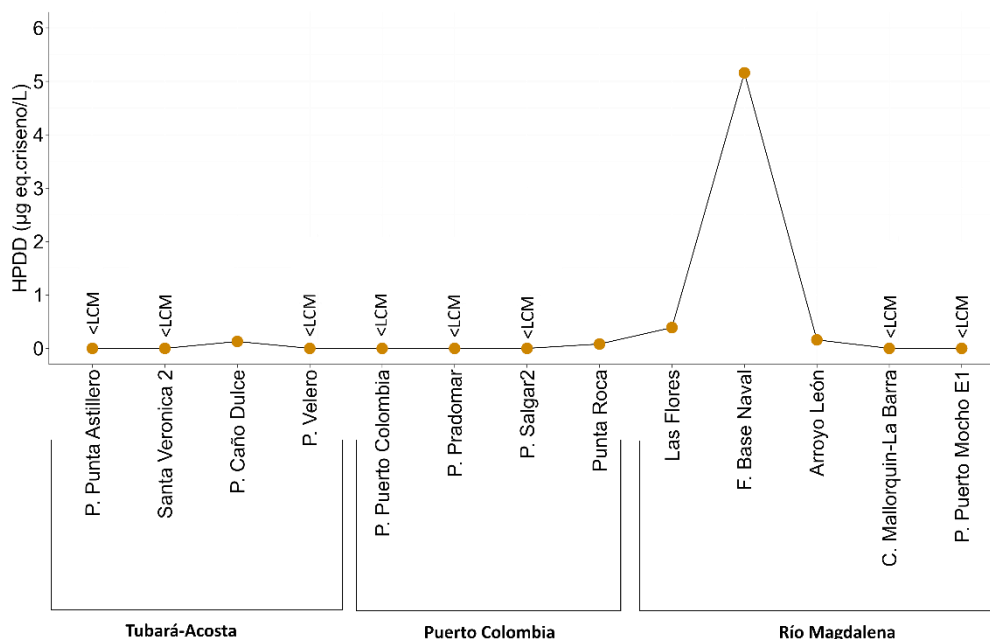


Figura 4-8. Concentración de Hidrocarburos del petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de Criseno (HPDD) en el agua superficial de las estaciones del departamento del Atlántico durante los muestreos en septiembre de 2025. Límite de cuantificación del método analítico, para HPDD corresponde a 0,075 µg/L.

Plaguicidas Organoclorados y Organofosforados

Los plaguicidas organoclorados y organofosforados medidos en las muestras de agua de las estaciones de P. Velero, Las Flores y Darsena Barranquilla, muestreadas en el mes de septiembre de 2025, no fueron detectados. Lo anterior, es consistente con lo reportado en el año 2019, donde cuando tampoco se detectaron estos contaminantes orgánicos en las muestras de agua ([INVEMAR, 2020](#)).

Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras

La calidad del agua marina y costera del departamento de Atlántico para la preservación de la flora y fauna, se determinó a partir del Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras (ICAM_{PFF}). El ICAM_{PFF} se calculó para las nueve (9) estaciones que cumplieron con los criterios mínimos definidos en la metodología de la operación estadística ([Vivas-Aguas et al., 2025](#)). Los valores ICAM_{PFF} oscilaron entre 36,39 y 89,92 (Figura 4-9). El 78% de las estaciones presentaron calidad adecuada, el 11% aceptable y el 11% inadecuada. Las estaciones clasificadas con calidad adecuada correspondieron a P. Caño Dulce, Punta Roca, P. Pradomar, P. Puerto Colombia, C. Mallorquín-Playa, Arroyo León y C. Mallorquín La Barra. En contraste, las que presentaron calidad

aceptable e inadecuada correspondieron a Rincón Hondo y Bocas de Ceniza (B), respectivamente.

La clasificación de calidad inadecuada para Bocas de Ceniza (B), se debió a las altas concentraciones de nitratos, sólidos suspendidos totales y coliformes termotolerantes, que son aportadas por vertimientos de aguas residuales domésticas, escorrentías urbanas y agrícolas en la zona del río Magdalena ([INVEMAR, 2024](#)). De hecho, se ha documentado que las principales fuentes que contribuyen a la contaminación por nitrógeno y fósforo en esta zona corresponden a actividades agrícolas y ganaderas; el aumento de las concentraciones de sólidos suspendidos totales se relaciona con las aguas residuales domésticas e industriales, y las que aportan mayormente a las altas concentraciones de coliformes fecales se relacionan principalmente con el vertimiento de aguas residuales sin tratar ([Gallo-Vélez et al., 2022](#)).

En lo que respecta a Rincón Hondo, la calidad del agua para el mes de septiembre de 2025 presentó una disminución en el valor del ICAM_{PFF} con relación a septiembre de 2024, pasando de una categoría adecuada a una de aceptable. Lo anterior se relaciona con la alta concentración de COT registrada en la estación y que está asociada con el aporte de materia orgánica vegetal, posiblemente como resultado de actividades antrópicas desarrolladas en el área, particularmente la producción de carbón vegetal y la preparación de tierras para cultivos agrícolas y ganaderos ([Blanco-Muñoz et al., 2020](#)).

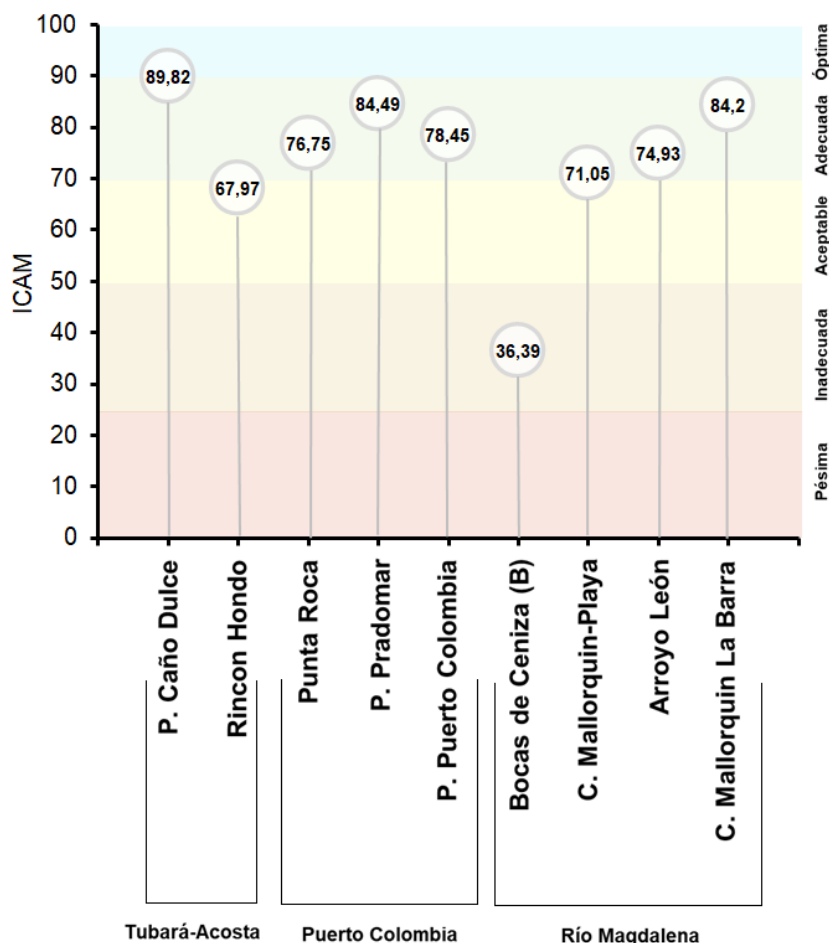


Figura 4-9. Calidad de agua superficial ICAM_{PFF} para época seca (muestreo en septiembre) del 2025, en las estaciones marinas y costeras del departamento del Atlántico.

Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

Para determinar la calidad sanitaria del agua marina y costera para uso recreativo en el departamento del Atlántico, se compararon las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) con límites permisibles nacionales establecidos 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 los Enterococos Fecales (EFE), con los valores de referencia establecidos por la Unión-Europea ([2006](#)) (<100 UFC/100 mL de EFE).

Las estaciones ubicadas en las zonas Tubará-Acosta y Puerto Colombia, presentaron concentraciones de CTE y CTT que estuvieron por debajo el límite permisible por contacto primario establecido por la legislación colombiana ([MinAmbiente, 2015](#)) (Figura 4-10). En las estaciones P. Punta Astillero, Rincón Hondo y P. Caño Dulce, las concentraciones de CTE estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico empleado por el LABCAM INVEMAR (LCM = 1,8 NMP/100 mL o <1 log NMP/100 mL). En contraste, la mayoría de las estaciones ubicadas en la zona río Magdalena presentaron concentraciones de CTE y CTT por encima de los límites permisibles por contacto primario, con excepción de Arroyo León, C. Mallorquín-La Barra y P. Puerto Mocho E1. En el caso específico de C. Mallorquín-Playa, las concentraciones de CTE se encontraron por debajo del valor de referencia, pero los CTT superaron ligeramente el límite permisible por contacto primario (Figura 4-10).

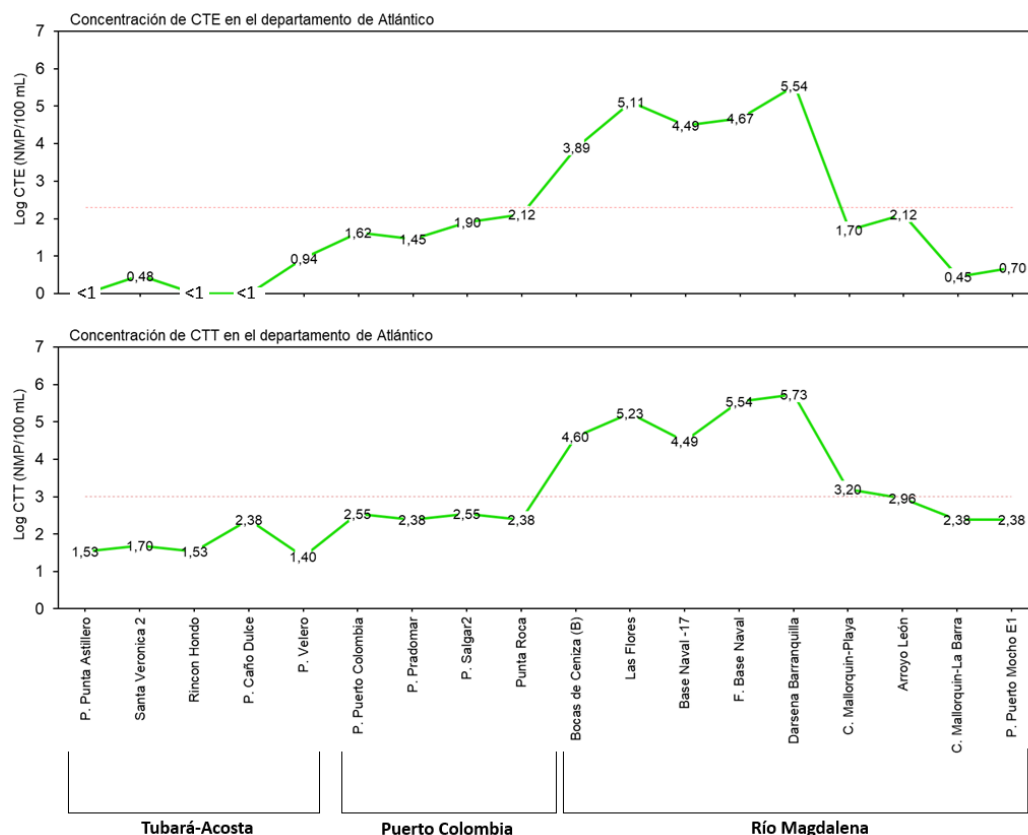


Figura 4-10. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Atlántico durante la salida de campo del 1 al 4 de septiembre de 2025. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permisible.

Las concentraciones de EFE para la mayoría de las estaciones muestreadas en septiembre de 2025, se encontraron por debajo del valor de referencia propuesto por la Unión Europea (Figura 4-11). En la estación Punta Roca se registró una concentración que estuvo por encima del valor de referencia, mientras que para C. Mallorquín-La Barra el valor estuvo por debajo del LCM empleado por LABCAM INVEMAR (1 UFC/100 mL).

Las concentraciones de CTT y CTE registradas en el muestreo de septiembre de 2025, disminuyeron en comparación con el mes de septiembre de 2024, principalmente para las estaciones P. Puerto Colombia, P. Velero, P. Salgar2 y P. Pradomar ubicadas en las zonas Tubará-Acosta y Puerto Colombia. No obstante, se siguen registrando concentraciones que superan los límites permisibles por la legislación nacional para estaciones ubicadas sobre el río Magdalena (Bocas de Ceniza (B), Las Flores, Base Naval – 17, F. Base Naval y Darsena Barranquilla), que reflejan la necesidad de diseñar e implementar acciones para el tratamiento de las aguas residuales municipales que propendan por la disminución de impactos sobre la calidad del recurso hídrico marino costero del departamento.

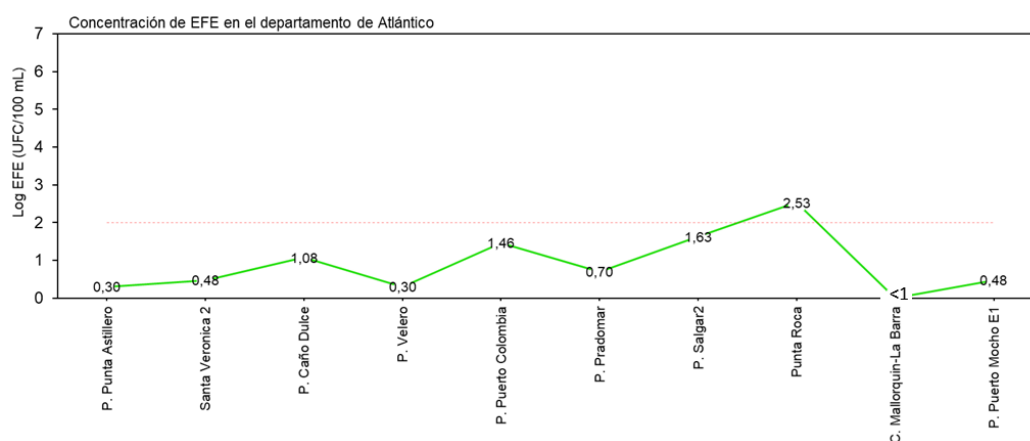


Figura 4-11. Concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Atlántico durante la salida de campo del 1 al 4 de septiembre de 2025. El valor de referencia corresponde a 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL) para EFE. Línea roja V.R: Valor de referencia.

El análisis histórico de los microorganismos indicadores de contaminación fecal, CTE, CTT y EFE, evidenció que, durante la mayor parte de los años analizados, las estaciones P. Puerto Colombia, P. Pradomar y P. Salgar 2 presentaron niveles de cumplimiento (Figura 4-12). No obstante, se identificaron eventos puntuales de mejora, particularmente en la estación P. Salgar, donde en 2019 se registró un nivel de cumplimiento alto para CTT y, en 2023, para CTE y CTT.

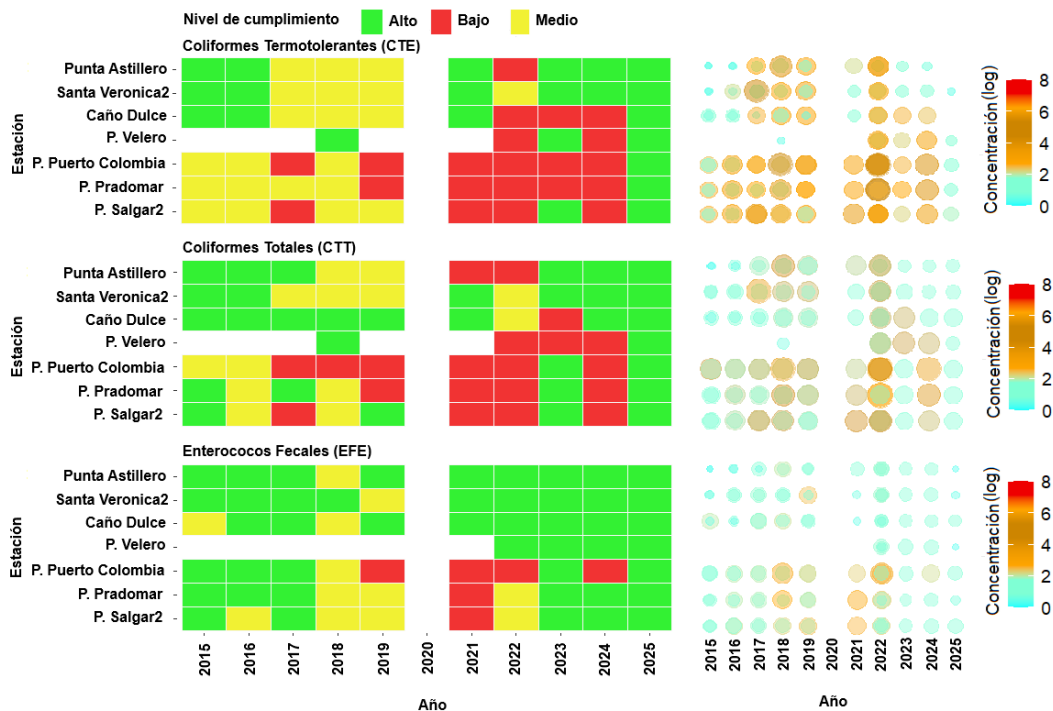


Figura 4-12. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Atlántico. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: 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 Permisible. V.R: Valor de referencia.

En el muestreo realizado en el 2023, las concentraciones de CTT en las estaciones P. Puerto Colombia, P. Pradomar y P. Salgar 2 cumplieron con los valores establecidos por la norma; sin embargo, en P. Puerto Colombia y P. Pradomar los niveles de cumplimiento para CTE se mantuvieron bajos. En 2024, se evidenció un deterioro general de las condiciones microbiológicas, con niveles de cumplimiento bajos para CTE y CTT en estas estaciones, excepto en P. Pradomar y P. Salgar 2, donde se observaron niveles de cumplimiento alto para EFE. Cabe destacar, en el caso de Caño Dulce, se observaron niveles de cumplimiento bajo para CTE desde el 2022 hasta el 2024 (Figura 4-12). En cuanto al análisis correspondiente al muestreo de septiembre del 2025, se observó una mejora generalizada, con niveles de cumplimiento alto para todos los indicadores microbiológicos (CTT, CTE y EFE), en todas las estaciones evaluadas. En conjunto, estos resultados reflejan la influencia combinada de los vertimientos de aguas residuales domésticas y del aporte del río Magdalena, los cuales constituyen fuentes relevantes de contaminación orgánica y microbiológica en la región, moduladas por la variabilidad hidrológica y oceanográfica local (CRA, 2022; Gallo-Vélez *et al.*, 2022).

Metales disueltos en agua

En la estación Bocas de Ceniza, se registró una concentración de cromo hexavalente (Cr^{+6}) de 8,68 $\mu\text{g/L}$ y en Las Flores de 6,05 $\mu\text{g/L}$. La concentración de hierro (Fe) en Bocas de Ceniza fue 121 $\mu\text{g/L}$ en y Las Flores 150 $\mu\text{g/L}$. La concentración de zinc (Zn) Bocas de Ceniza (B) fue 29,6 $\mu\text{g/L}$ y en Las Flores 25,5 $\mu\text{g/L}$. Estas concentraciones se encontraron por debajo de los valores de referencia para efectos crónicos y agudos propuestos por Buchman (2008) (11 y 16 $\mu\text{g/L}$ para Cr^{+6} , 1000 $\mu\text{g/L}$ para Fe y 120 $\mu\text{g/L}$ para Zn) (Figura 4-13), y presentaron comportamientos similares a los reportados en el año 2024 por INVEMAR-CRA (2024). Es importante destacar que las concentraciones de los metales cadmio-Cd, cobre-Cu, mercurio-Hg, níquel-Ni y plomo-Pb, se encontraron por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos empleados por LABCAM INVEMAR (2,5 $\mu\text{g/L}$ para Cd, 2,5 $\mu\text{g/L}$ para Cu, 0,3 para Hg, 7,5 $\mu\text{g/L}$ para Ni y 12,5 $\mu\text{g/L}$ para Pb).

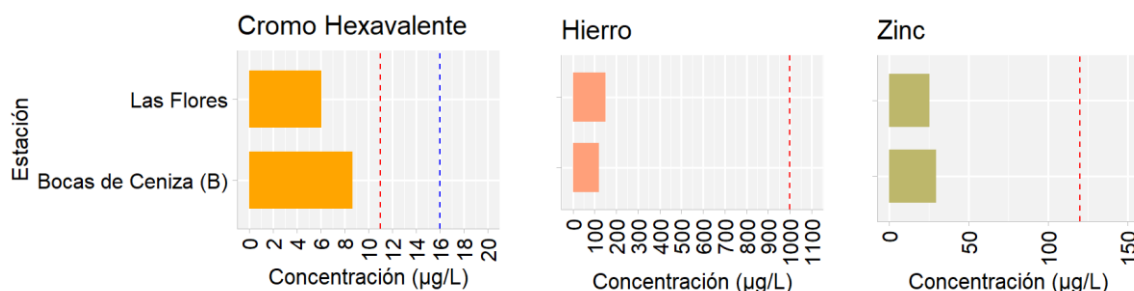


Figura 4-13. Concentración de metales disueltos en agua en las estaciones de agua dulce del departamento del Atlántico, colectadas en septiembre de 2025. Los valores de referencia para efectos crónicos y efectos agudos se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia para efectos crónicos y las de color azul para efectos agudos.

En relación con los metales disueltos en aguas con características estuarinas o marinas, en el muestreo de septiembre del 2025, solo se cuantificó zinc en la estación Puerto Velero, (14,6 $\mu\text{g/L}$), el cual se encontró por debajo de los valores de referencia para efectos crónicos y agudos propuestos por Buchman (2008) (81 y 90 $\mu\text{g/L}$). Los metales Cd, Cu, Cr^{+6} , Fe, Hg y Ni, estuvieron por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos utilizados por el LABCAM INVEMAR (2,5 $\mu\text{g/L}$ para Cd, 2,5 $\mu\text{g/L}$ para Cu, 5 $\mu\text{g/L}$ para Cr^{+6} , 100 $\mu\text{g/L}$ para Cr, 12,5 $\mu\text{g/L}$ para Fe, 0,3 para Hg, 7,5 $\mu\text{g/L}$ para Ni y 12,5 $\mu\text{g/L}$ para Pb). Lo observado en el muestreo de septiembre del 2025 es consistente con el reporte del muestreo del año 2024, en el cual la mayoría de los metales estuvieron por debajo el LCM (INVEMAR-CRA, 2024).

Acidificación de océanos

El océano juega un papel importante en el cambio climático, ya que actúa como un moderador del clima y modifica la concentración del CO_2 en la atmósfera. La captura del CO_2 antropogénico por parte del océano no solo afecta las concentraciones atmosféricas de CO_2 , sino que también tiene un efecto directo sobre la química marina, causando la llamada acidificación del océano ([Feely et al., 2009](#)). El término “acidificación del océano” hace referencia a la disminución del pH o aumento de la acidez del agua de mar, ocasionada por la disolución de CO_2 atmosférico de origen antropogénico. Este fenómeno está poniendo en peligro el desarrollo de los organismos calcáreos, los arrecifes de coral y los ecosistemas marinos en general ([Jiang et al., 2019](#)).

Para interpretar adecuadamente el comportamiento del sistema de carbonatos en la capa superficial (1 m) de la zona de puerto Velero, es indispensable incorporar las variables ambientales que regulan sus intercambios y transformaciones. La salinidad es un descriptor clave de la procedencia y mezcla de masas de agua, influyendo directamente en la alcalinidad total y en la concentración del carbono inorgánico disuelto ([Honkanen et al., 2021](#)). La salinidad presentó valores más altos hacia el interior de la bahía (Figura 4-14A), este comportamiento es consistente con estudios locales en los que se atribuye las variaciones en salinidad principalmente al aporte de la pluma del Magdalena ([Moreno et al., 2019](#)). La temperatura, que controla la solubilidad del CO_2 y, por tanto, el equilibrio entre las distintas especies del sistema ([Weiss & Keeling, 1982](#)), mostró variaciones mínimas entre los puntos muestreados (Figura 4-14B), lo cual es consistente con estudios regionales que muestran que la variabilidad térmica superficial en esta franja costera suele ser reducida a escalas muy locales en ausencia de eventos extremos ([Ricaurte-Villota et al., 2025](#)). La clorofila *a*, indicador de actividad fitoplanctónica y de potencial fijación biológica de carbono ([Gui & Sun, 2024](#)), presentó un patrón de disminución conforme se incrementa la distancia a la costa (Figura 4-14C), siendo consistente con estudios locales que muestran patrones costeros de mayor clorofila hacia la costa y disminución mar adentro ([Torres-Bejarano et al., 2018](#)). Finalmente, el oxígeno disuelto, que refleja el balance neto entre fotosíntesis y respiración ([Grégorie et al., 2023](#)), exhibió escasa variación espacial en el área analizada (Figura 4-14D), en estudios locales se ha observado que el OD superficial puede presentar alta variabilidad temporal (estacional) pero, en muestreos puntuales de superficie bien ventilada, tiende a ser relativamente uniforme ([Moreno et al., 2019](#)).

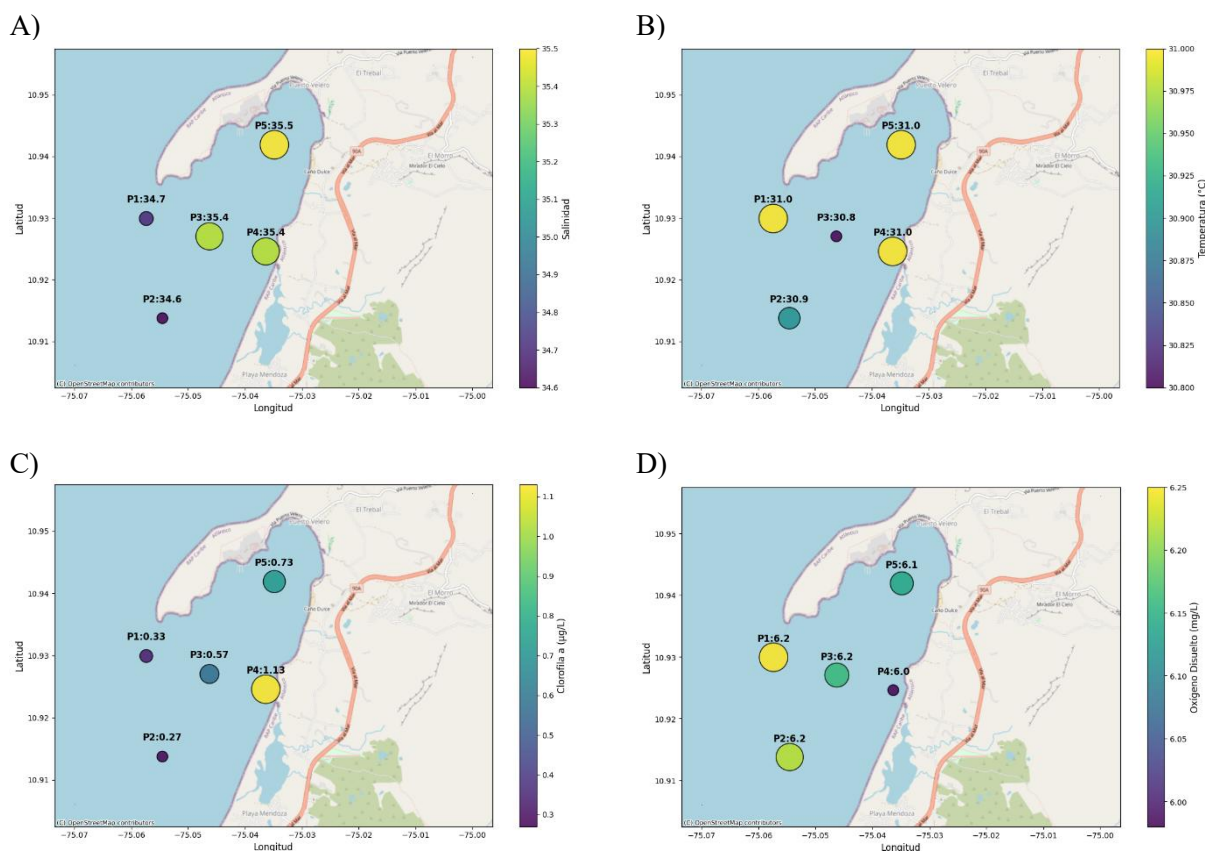


Figura 4-14. A) Salinidad, B) Temperatura, C) Clorofila a (µg/L) y D) OD (mg/L) en los puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.

Carbono inorgánico disuelto (CID)

El carbono inorgánico disuelto (CID) corresponde a la suma del CO_2 disuelto, el ion bicarbonato (HCO_3^-) y el ion carbonato (CO_3^{2-}), constituyendo la fracción dominante del carbono en el agua de mar. En aguas superficiales, su variabilidad responde principalmente al balance entre captura del CO_2 durante el proceso de la fotosíntesis, la liberación durante la respiración de la comunidad, y el intercambio aire-mar por procesos físicos locales (Williams & Follows, 2011; Ishizu, 2020). En los puntos muestreados en Puerto Velero, la concentración de CID osciló entre 1973 y 2029 µmol/kg; valores relativamente homogéneos, coherentes con una capa superficial dominada por mezcla y ventilación atmosférica. Los valores más altos se concentraron en (P5–P3), mientras que P2 tuvo los valores más bajos (Figura 4-15). Esta variación espacial y su relación con la salinidad apunta a que a 1 m de profundidad en esta zona durante la época estudiada, el

aporte físico de masas de agua controla la variación química, más que un efecto diferencial de producción o respiración a escala local ([Broullón et al., 2020](#); [Carroll et al., 2022](#)).

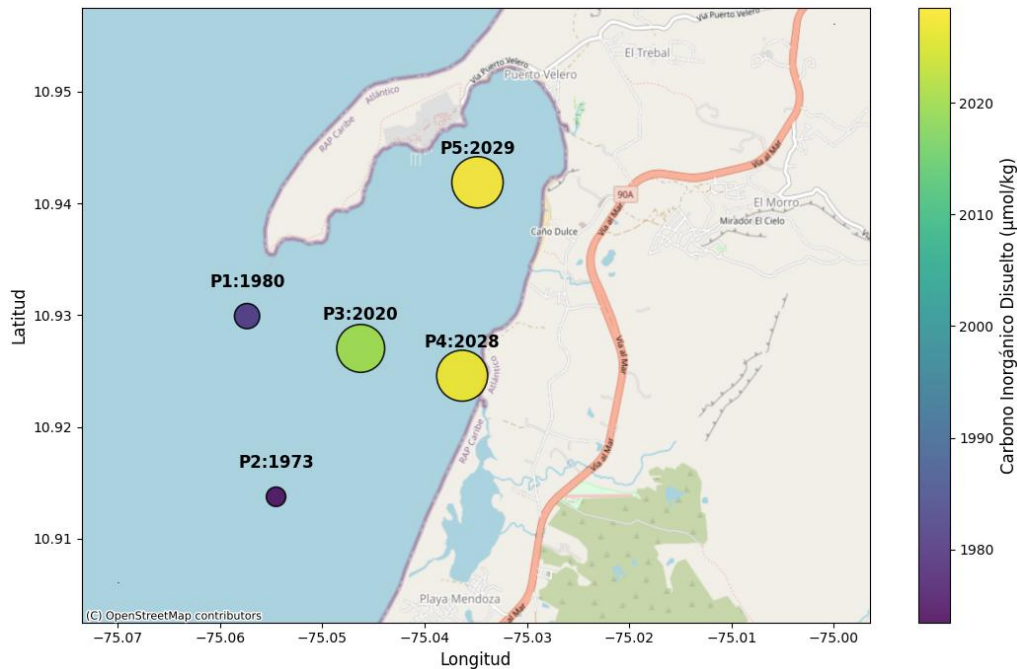


Figura 4-15. CID (µmol/kg) en los puntos muestreados el 3 de septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.

Alcalinidad Total (AT)

La alcalinidad total agrupa los aceptores de protones presentes en el agua de mar y representa la capacidad amortiguadora frente a la incorporación de CO_2 . Dado que la AT es poco sensible a la temperatura y la presión, en el agua superficial está fuertemente controlada por la salinidad, mezcla de masas de agua, procesos de evaporación/precipitación y aporte continental ([Qiu et al., 2024](#); [Hogikyan & Resplandy 2024](#)). Los valores superficiales de AT fueron relativamente homogéneos entre 2295–2346 µmol/kg mostrando un gradiente espacial, con los valores más altos concentrados en el interior de la bahía (principalmente P5), y las concentraciones más bajas en la boca de la bahía (P2 y P1) (Figura 4-16). Esta distribución coincide con la zona de mayor salinidad, lo que sugiere control por mezcla de masas de agua y menor influencia de dilución costera.

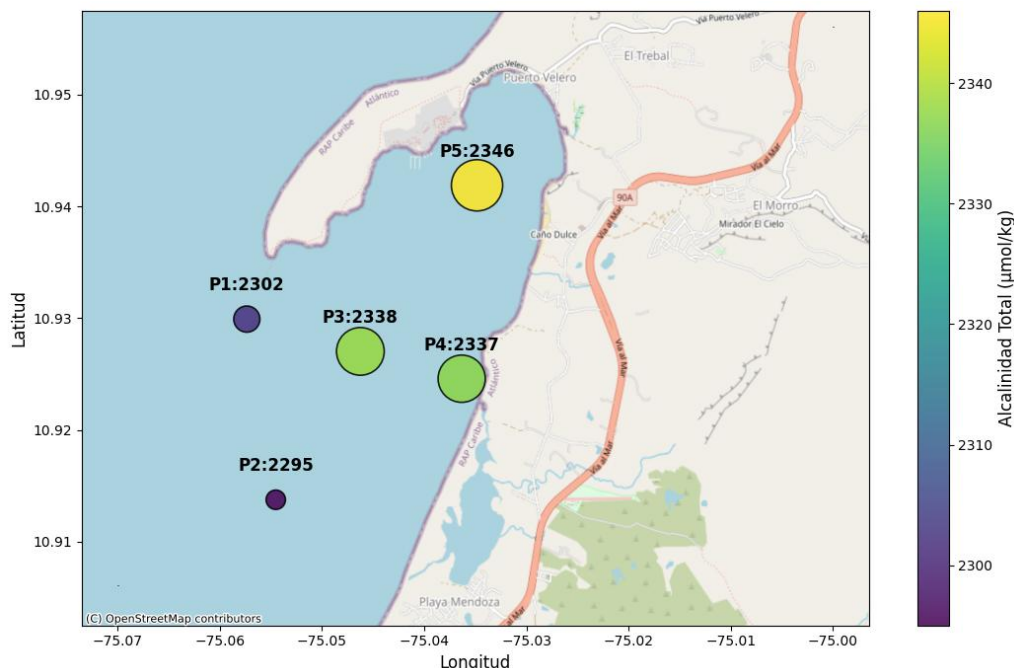


Figura 4-16. AT ($\mu\text{mol/kg}$) en los cinco puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.

pH escala total

El pH_T superficial refleja la interacción inmediata entre la fotosíntesis, la respiración, el intercambio de CO_2 con la atmósfera y la capacidad buffer del sistema carbonato. Los valores registrados a 1 m de profundidad oscilaron entre 7,957 y 7,995 escala total, coherentes con condiciones ligeramente básicas esperadas para aguas marinas superficiales. A diferencia del CID, los valores de pH fueron ligeramente superiores en los puntos donde la salinidad fue más baja (P1-P2) y más bajos en los sitios con mayor AT/CID (P5-P4), evidenciando el efecto amortiguador del sistema carbonato. Aunque el rango es corto, la tendencia sugiere que el aumento en CO_2 disuelto en el extremo norte reduce el pH (Figura 4-17) ([Gattuso & Hansson, 2011](#); [Zeebe & Wolf-Gladrow, 2021](#)). De forma consistente con lo reportado para ambientes someros, cuando la relación CID:AT se incrementa, el pCO_2 se eleva y el pH disminuye, lo que explica por qué las aguas con mayor CID relativo presentan pH más bajo en comparación con las zonas mejor tamponadas ([Reimer et al., 2024](#)).

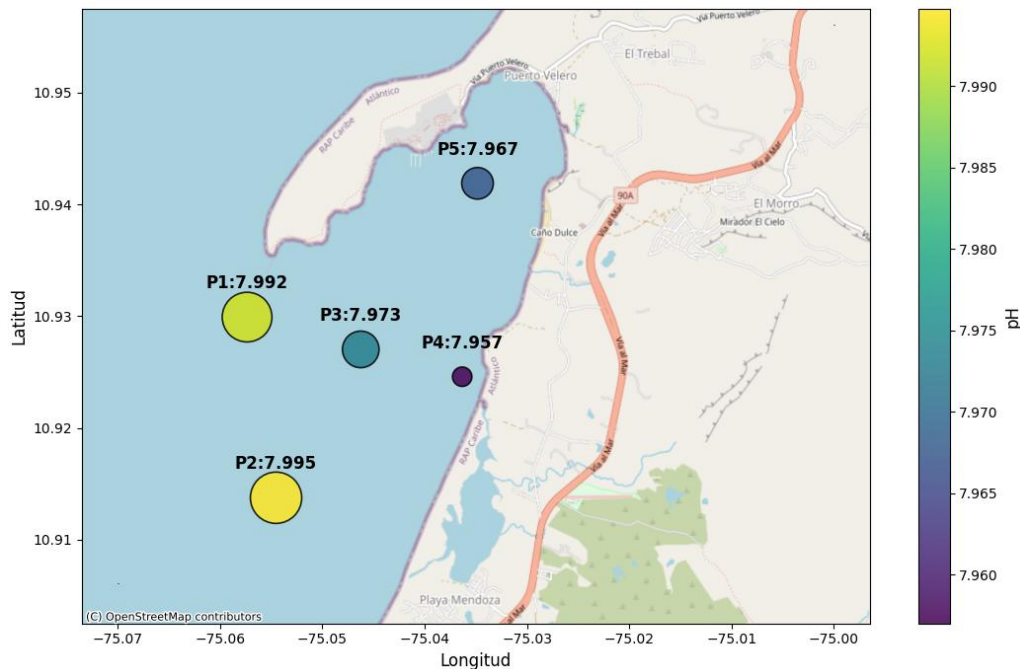


Figura 4-17. pH es escala total en los puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.

Saturación del carbonato de calcio (Ω_{Arag} y Ω_{Cal})

Un primer indicador de calcificación y mortalidad de los organismos calcificantes en agua de mar son los estados de saturación de Ω_{Arag} y Ω_{Cal} . Los valores de $\Omega = 1$, indican que los minerales de carbonato están saturados; cuando el $\Omega > 1$, indica sobresaturación que favorece las condiciones para procesos de precipitación o preservación de minerales de carbonato; mientras que cuando el $\Omega < 1$ indica que existe subsaturación de carbonatos y se favorece la disolución. Si el estado de saturación de aragonita y calcita disminuye, hay mayores retos fisiológicos en los organismos calcificadores ([Fabry et al., 2008](#); [Guinotte & Fabry, 2008](#) en [Castro et al., 2017](#)). En los cinco puntos analizados en el mes de septiembre, Ω_{Cal} se mantuvo $> 5,3$ (Figura 4-18) y $\Omega_{Arag} > 3,6$ (Figura 4-19), lo que corresponde a condiciones sobresaturadas en superficie, favorables para organismos calcificadores ([Feely et al., 2009](#)). Los valores de Ω_{Cal} y Ω_{Arag} fueron más altos en P1 y P2, siguiendo el gradiente espacial del pH. Las estaciones con valores menores, indicaría menor capacidad buffer local. Es importante resaltar que, aunque estas condiciones favorecen la calcificación, pequeñas variaciones en CID y temperatura pueden inducir respuestas fisiológicas rápidas ([Gazeau et al., 2007](#); [Kroeker et al., 2013](#)).

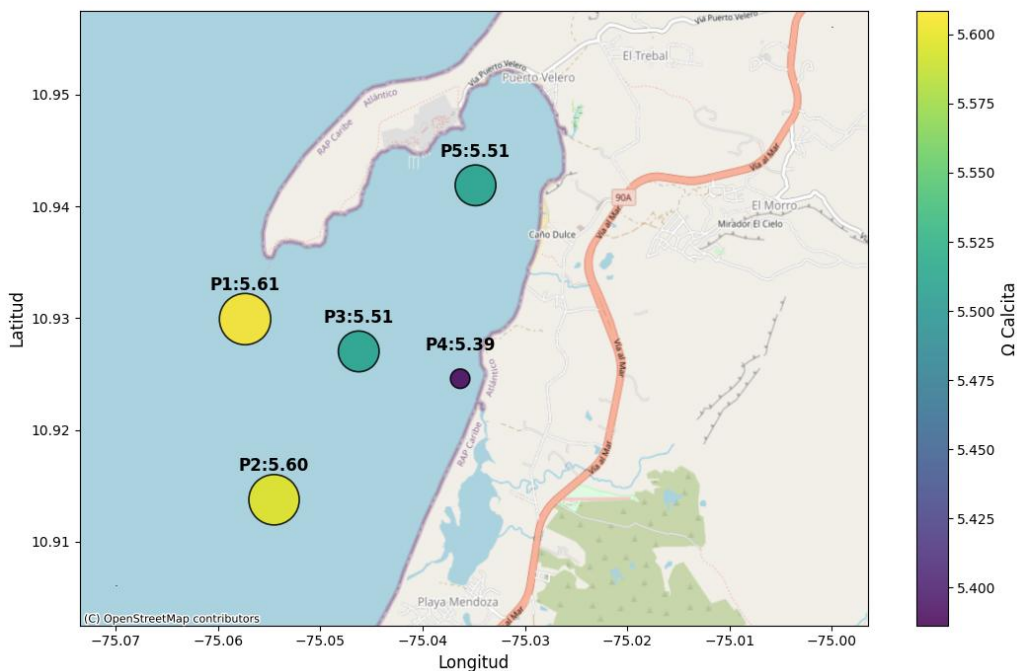


Figura 4-18. Q calcio en los cinco puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.

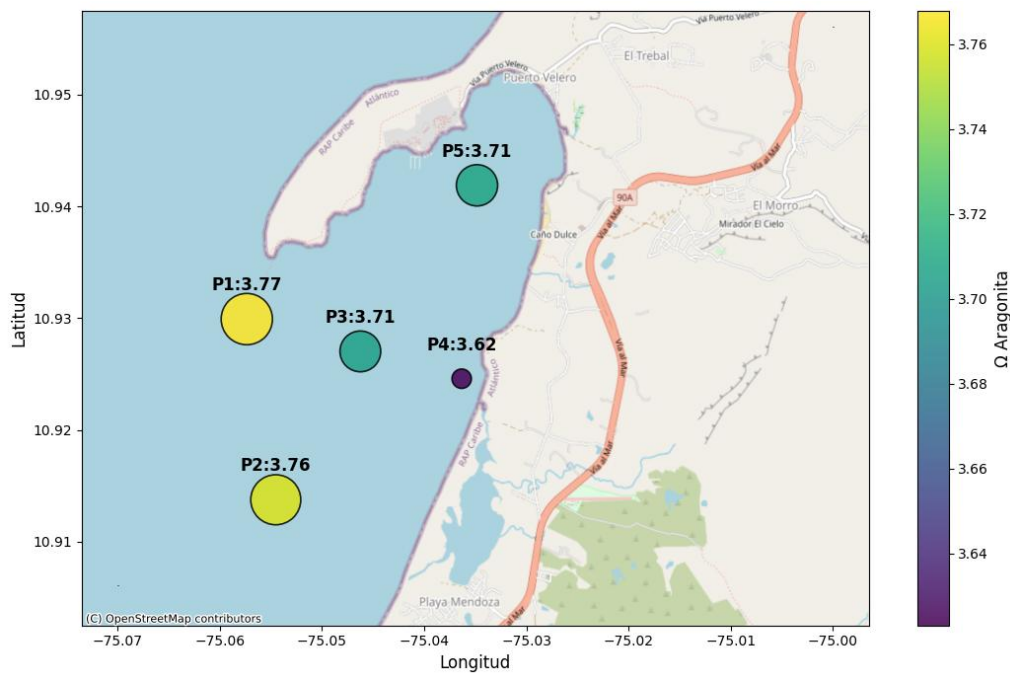


Figura 4-19. Q aragonita en los cinco puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.

Presión parcial del CO_2 ($p\text{CO}_2$)

La $p\text{CO}_2$ expresa la fracción gaseosa de CO_2 disuelto y controla la dirección del flujo aire-mar ([Wanninkhof, 1992](#)). Valores superiores de CO_2 disuelto en agua de mar con respecto al CO_2 atmosférico, implican una superficie marina que actúa como fuente temporal de CO_2 . La distribución espacial del $p\text{CO}_2$ presenta mayores valores en la entrada de la bahía y esta aumenta hacia la costa (Figura 4-20). Sin embargo, los valores obtenidos en el área de estudio (446–503 μatm) superaron el promedio atmosférico registrado para septiembre de 2025 (~422 ppm; [NOAA, 2025](#)), indicando que, al momento del muestreo, la zona de estudio tendió a liberar CO_2 hacia la atmósfera ([Doney et al., 2009](#)).

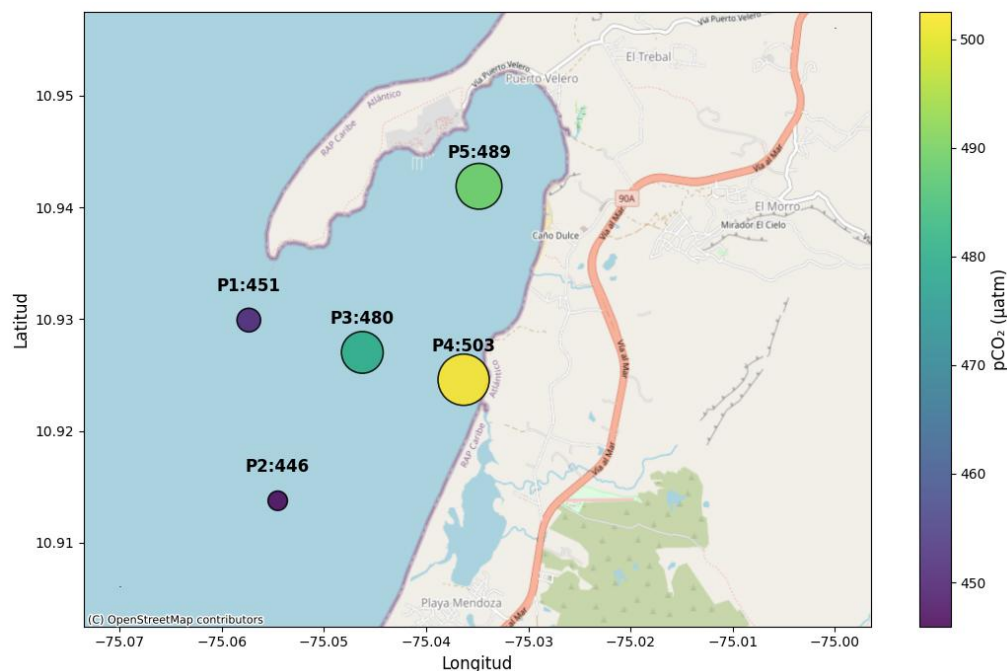


Figura 4-20. $p\text{CO}_2$ (μatm) en los cinco puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.

Factor de Revelle

El factor de Revelle describe la capacidad buffer del océano frente a un incremento de CO_2 . Entre más alto es el factor de Revelle, menor es la capacidad buffer del océano y más rápido será el cambio de $p\text{CO}_2$ en el océano en un determinado cambio de CID ([Revelle & Suess, 1957](#); [Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001](#)). Se ha estimado que el factor de Revelle varía desde aproximadamente 9 en aguas tropicales de baja latitud y 15 en el océano austral frente a la Antártida ([Sabine et al., 2004](#)). En el área evaluada se observa un rango estrecho (9,16–9,42) pero con un patrón espacial definido (Figura 4-21). En la capa superficial de Puerto Velero, los valores más bajos se localizaron en los puntos externos del sector sur (P1 y P2), asociados a aguas ligeramente menos salinas y

con menores concentraciones de CID, en contraste, los máximos se registraron frente a la línea de costa oriental (P4) y en P3 YP5, coincidiendo con valores más altos de salinidad, CID y $p\text{CO}_2$.

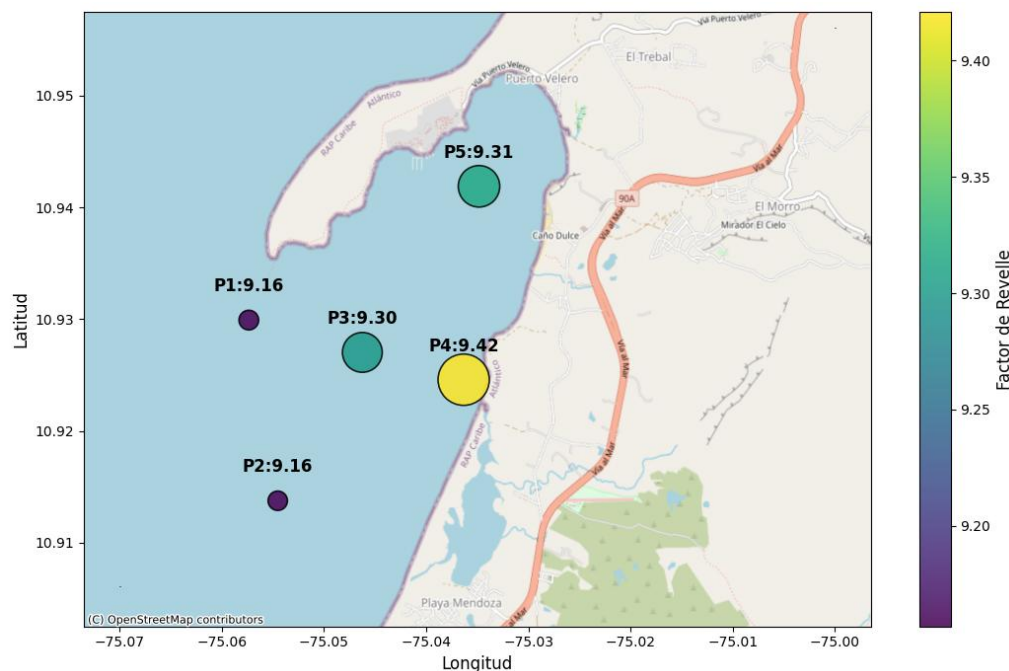


Figura 4-21. Factor de Revelle en los cinco puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.

Correlación entre las variables analizadas

Aunque el conjunto corresponde únicamente a cinco puntos superficiales, la coherencia interna de los coeficientes sugiere que las tendencias observadas reflejan patrones físico-químicos consistentes en la capa de 1 m. Aun cuando el tamaño muestral limita inferencias estadísticas robustas, es suficiente para evidenciar co-variaciones direccionales entre salinidad, AT, CID y pH, en línea con lo descrito para sistemas superficiales donde la mezcla, evaporación y el balance hidrológico controlan la distribución de carbono inorgánico ([Durack & Wijffels, 2024](#)).

Las correlaciones apuntan a un sistema dominado por el equilibrio fisicoquímico del carbono, con salinidad y AT actuando como variables rectoras que modulan la especiación y el pH, tal como plantean evaluaciones recientes del comportamiento superficial del sistema carbonato ([Cai et al., 2020](#); [Delaigue et al., 2025](#)). Asociaciones casi perfectas entre AT y CID ($r \approx 1,00$) y entre CID y pH pero en sentido inverso ($r \approx -0,96$), refuerzan que aumentos en carbono disuelto reducen el pH pese al efecto amortiguador del sistema. Asimismo, la correlación positiva entre salinidad y AT/CID ($r \approx 0,77-0,85$), sugiere que la advección y mezcla de masas de agua explican mayor variación que la producción primaria, un patrón también observado en sistemas costeros dominados por forzamientos físicos ([Bauer et al., 2020](#)).

Las correlaciones negativas entre pH y salinidad (≈ -0.92) y entre pH y clorofila (≈ -0.96) indican que los incrementos en estas variables se asocian con disminuciones locales de pH. Finalmente, la relación negativa entre pCO_2 y AT/CID (≈ -0.73 a -0.82), junto con su fuerte asociación con la salinidad (≈ 0.99), respalda que el control físico determina la acumulación de CO_2 disuelto y la dirección potencial del flujo aire-mar, más que la señal biológica superficial.

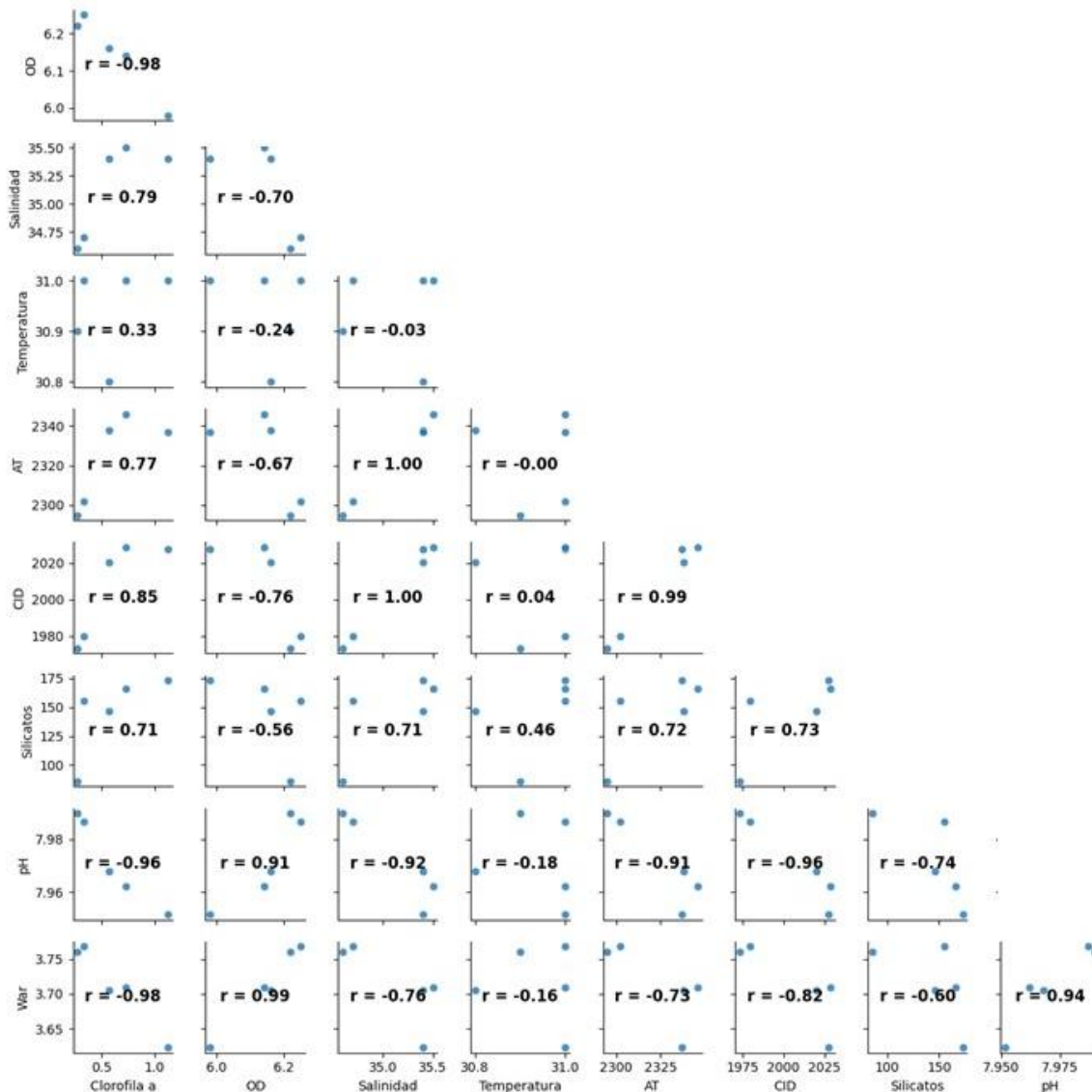


Figura 4-22. Correlación entre el OD, Salinidad, Temperatura y silicatos con variables del sistema de carbonatos en los puntos muestreados durante septiembre de 2025 en el sector Puerto Velero.

Calidad de sedimentos y arena de playa

El análisis granulométrico de las muestras de sedimento recolectados en septiembre de 2025, mostró que el 2,68% del contenido correspondió a Lodo y el 97,3% a Arena para la estación P. Velero. Mientras que, en la estación Base Naval – 17, el 26,2% del contenido fue Lodo y el 73,7% Arena (Figura 4-23). En relación con la metodología establecida por Folk y Ward (1957), el sedimento de P. Velero fue clasificado como Arena media, con un diámetro de partícula de 332,6 μm , y el de Base Naval-17 se clasificó como Limo muy grueso, con un tamaño de partícula de 61,19 μm de diámetro (Figura 4-24). Las características del sedimento observadas son similares a lo reportado para ambas estaciones en los años 2024 y 2023 (INVEMAR, 2025; 2024), en donde se evidenció el predominio de partículas de arena en el caso de P. Velero y de limo para Base-Naval-17.

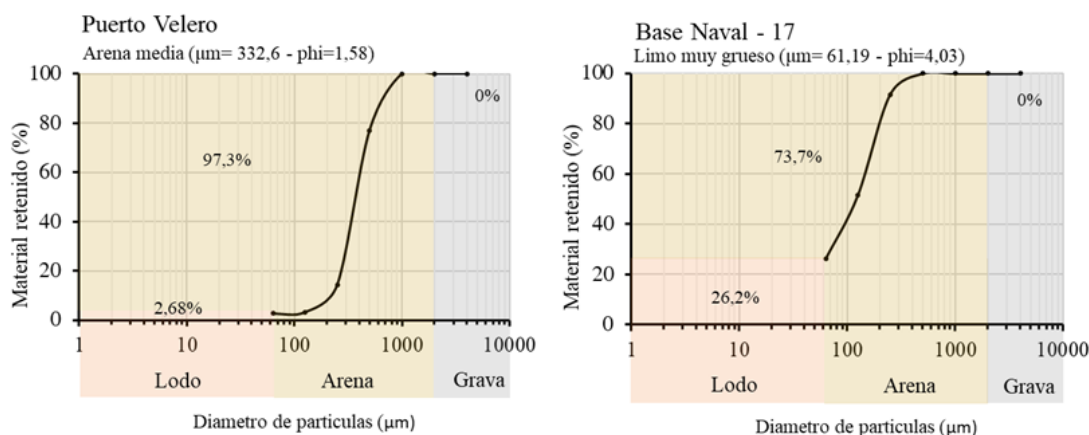


Figura 4-23. Curva granulométrica de las muestras de sedimentos recopiladas en septiembre de 2025, en la estación Puerto Velero y Base Naval-17 en el departamento del Atlántico.

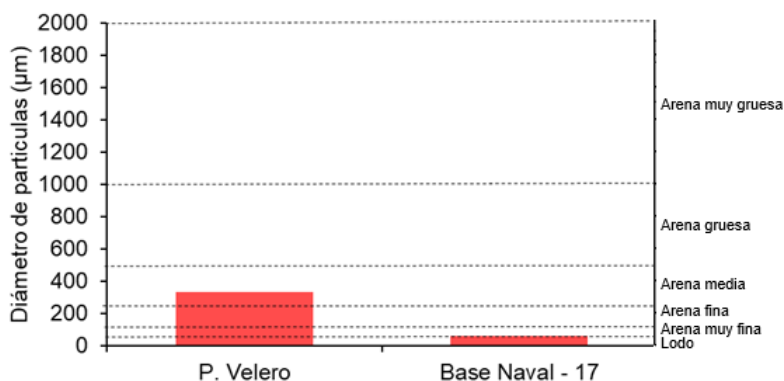


Figura 4-24. Tamaño medio de partícula del sedimento (μm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en septiembre del año 2025, en el departamento del Atlántico. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

El análisis microbiológico para determinar la calidad de sedimento y arena de playa se llevó a cabo a partir de la evaluación de las concentraciones de CTE, CTT y EFE en las estaciones P. Puerto Velero, P. Pradomar y P. Puerto Colombia. Las concentraciones de CTE en los sedimentos muestreados en septiembre del 2025 fueron 36 NMP/10g y 8,7NMP/10g para P. Pradomar y P. Puerto Colombia, respectivamente (Figura 4-25). mientras que en Puerto Velero las concentraciones de CTE se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método analítico empleado por el LABCAM INVEMAR (1,8 NMP/10g). En todos los casos las concentraciones de CTE disminuyeron en comparación con el año 2024, en donde se reportaron valores de 270 NMP/10g, 170 NMP/10g y 14 NMP/10g para las estaciones de P. Pradomar, P. Puerto Colombia y P. Puerto Velero, respectivamente ([INVEMAR-CRA, 2024](#)).

Las concentraciones de CTT en septiembre de 2025 alcanzaron valores 158 NMP/10g para P. Puerto Velero, 54 NMP/10g para P. Pradomar y 14 NMP/10g para P. Puerto Colombia (Figura 4-25). Estos valores son inferiores a los registrados en septiembre de 2024 por INVEMAR-CRA ([2024](#)) para P. Pradomar (2400 NMP/10g) y P. Puerto Colombia (3500 NMP/10g). Mientras que, en el caso de P. Puerto Velero, se destaca un incremento en la concentración de CTT (26 NMP/10g). Por otro lado, las concentraciones de EFE registradas en P. Puerto Velero, P. Pradomar y P. Puerto Colombia fueron 2 UFC/10g, 14 UFC/10g y 39 UFC/10g, respectivamente, valores que también se encontraron por debajo de las concentraciones reportadas para el año 2024 ([INVEMAR-CRA, 2024](#)). 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 ambientes marinos y costeros ([Lin et al., 2004](#); [Larrea-Murrell et al., 2013](#)). Esta mayor resistencia explicaría porque los EFE se encontraron en mayores concentraciones en la comparación entre matrices de agua y sedimento para las tres estaciones evaluadas (Figura 4-25).

Es importante destacar que en Colombia no existe una legislación que establezca límites permisibles para este tipo de microorganismos en sedimentos y arena de playa. Así mismo, la OMS reconoce que la arena de playa y sedimentos pueden ser reservorios de microorganismos indicadores de contaminación fecal y recomiendan su monitoreo como parte de la evaluación de riesgos, pero no establecen valores numéricos de referencia para CTE, CTT y EFE en sedimentos marinos o arena de playa ([OMS, 2003](#)), por lo que el seguimiento constante de estas variables en las playas evaluadas constituyen una medida comparativa de alerta ante una posible afectación en la calidad de los sedimentos.

Por otra parte, en las muestras de sedimentos recolectadas en las playas de Puerto Velero, Pradomar y Puerto Colombia no se identificó la presencia de *Vibrio* spp. No obstante, es fundamental mantener su monitoreo, debido a su carácter autóctono marino, su elevada capacidad de persistencia y posibilidades de proliferación en sedimentos arenosos.

Adicionalmente, varias especies de este género presentan potencial patogénico para el ser humano, y la arena de playa puede actuar como un reservorio ambiental que favorece la acumulación y posterior transferencia hacia los usuarios, particularmente en escenarios de altas temperaturas superficiales y uso recreativo intensivo ([OMS, 2003](#)).

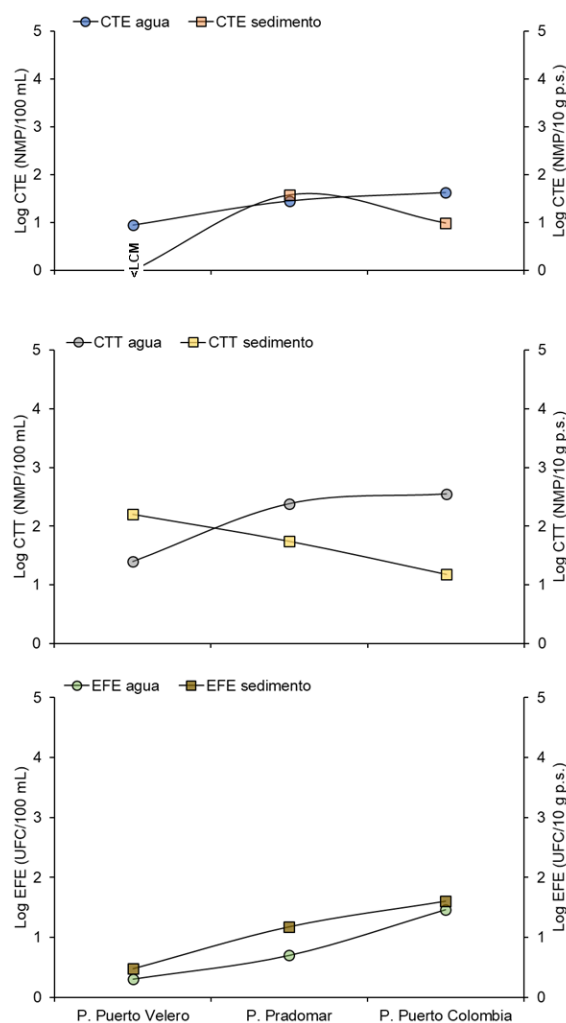


Figura 4-25. Logaritmo de la concentración de Coliformes termotolerantes (CTE), Coliformes totales (CTT) y Enterococos fecales (EFE) en las matrices de agua y sedimento en las tres estaciones REDCAM Atlántico durante la salida de campo del 1 al 4 de septiembre de 2025.

Con fines de determinar la calidad del sedimento, se cuantificaron los metales totales en la estación con características de agua marina (P. Puerto Velero); las concentraciones registradas fueron Cr con 29,6 µg/g, Fe con 15,8 mg/g, Hg con 5,11 ng/g y Zn con 66,6 µg/g (Figura 4-26). Las concentraciones de Cr, Hg y Zn, se encontraron por debajo de los valores de referencia para

efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) propuestos por Buchman (2008) (52,3 y 160 $\mu\text{g/g}$ para Cr, 130 y 700 ng/g para Hg, 124 y 271 $\mu\text{g/g}$ para Zn). Cabe destacar que las concentraciones de Cd, Cu, Ni y Pb, se encontraron por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos empleados por el LABCAM INVEMAR (12,5 $\mu\text{g/g}$ para Cd, 5 $\mu\text{g/g}$ para Cu, 75 $\mu\text{g/g}$ para Ni y 15 $\mu\text{g/g}$ para Pb).

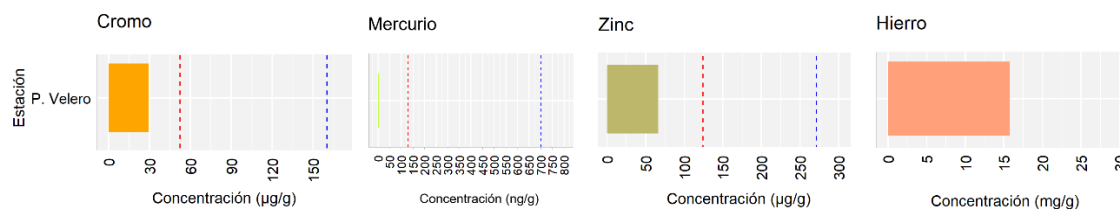


Figura 4-26. Concentración de metales totales en sedimentos marino/estuarinos (P. Velero) recolectados en septiembre de 2025 (época seca) en el departamento del Atlántico. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarinos. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. L

En la estación Base Naval – 17 que tiene características fluviales, se cuantificaron los metales Cu (31 $\mu\text{g/g}$), Cr (66,5 $\mu\text{g/g}$), Fe (33,3 mg/g), Hg (69,4 ng/g) y Zn (146 $\mu\text{g/g}$) (Figura 4-27). En el caso de Cr y Zn las concentraciones se encontraron por encima de los valores de referencia TEL pero por debajo de los valores de referencia PEL propuestos por la NOAA (Buchman, 2008). Estos valores de concentración son similares a los reportados en el muestreo de septiembre de 2024, cuando los mismos metales para la estación evaluada superaron el valor de referencia TEL (INVEMAR-CRA, 2024). Cabe destacar que, en el caso de Cu y Hg, las concentraciones se encontraron por debajo de los valores de referencia TEL. Los metales Cd, Ni y Pb, se encontraron por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos empleados por LABCAM INVEMAR (12,5 $\mu\text{g/g}$ para Cd, 7 $\mu\text{g/g}$ para Ni y 15 $\mu\text{g/g}$ para Pb).

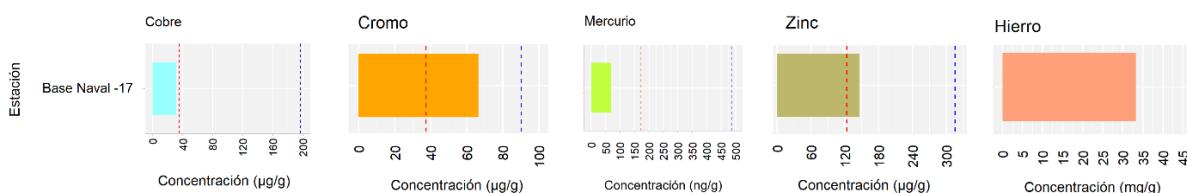


Figura 4-27. Concentración de metales totales en sedimentos fluviales (Base Naval - 17) recolectados en septiembre de 2025 (época seca) en el departamento del Atlántico. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarinos. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL.

Al igual que en las muestras de agua, en las muestreadas de sedimento colectadas en el mes de septiembre de 2025, en las estaciones de P. Velero y Base Naval-17, no fueron detectados los plaguicidas organoclorados y organofosforados; cabe destacar que en el muestreo del año 2019, tampoco se detectaron estos contaminantes en las muestras de sedimento ([INVEMAR, 2020](#)).

4.1.5. Basura Marina y microplásticos

La concentración de basura marina en las playas Punta Astillero, Salgar, Puerto Colombia, Santa Verónica, Caño Dulce y Puerto Velero, osciló entre 0 y 1,91 ítems/m². Las mayores concentraciones se registraron en Playa Punta Astillero (1,91 ítems/m²) y Playa Salgar (0,42 ítems/m²), mientras que en la playa de Puerto Velero, no se registró presencia de basura marina (Figura 4-28; Figura 4-29).

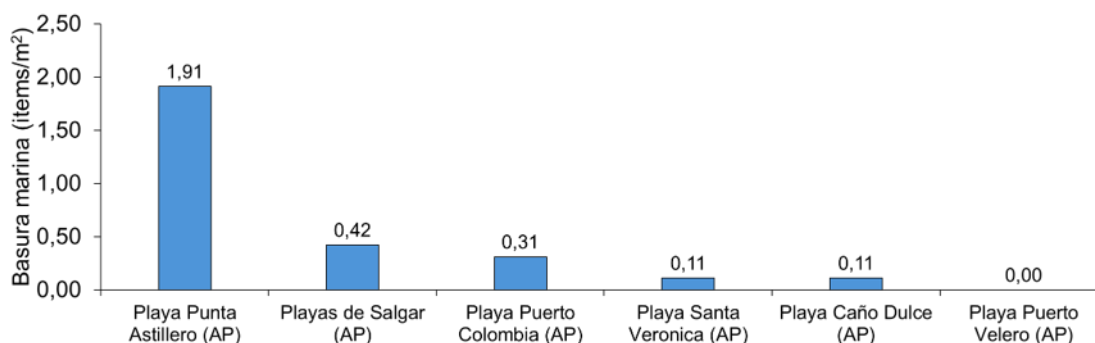


Figura 4-28. Abundancia de basura marina en las playas priorizadas del departamento del Atlántico, registrada en el muestreo realizado el 4 de septiembre de 2025

En comparación con los reportes de septiembre de 2024, todas las playas, a excepción de Punta Astillero, presentaron una disminución en la abundancia de basura marina ([INVEMAR, 2025](#)). En particular, en la playa de Puerto Velero, no se registró presencia de basura marina durante el muestreo realizado el 4 de septiembre de 2025. Esta reducción podría estar asociada al impulso turístico estratégico desarrollado en el departamento del Atlántico, sustentado en la modernización de infraestructura, el ordenamiento de playas y la promoción de la sostenibilidad ambiental, factores que han favorecido una gestión más adecuada de los residuos sólidos en las zonas costeras y han fortalecido el compromiso social hacia la conservación ambiental en los municipios atlanticenses ([Semana, 2025](#); [Fontur, 2024](#)). En contraste, el incremento registrado en Punta Astillero podría estar influenciado por la carga de residuos sólidos provenientes del río Magdalena, cuya desembocadura se encuentra en Bocas de Ceniza, además de los aportes asociados a las actividades turísticas y urbanas que se desarrollan en el área ([INVEMAR, 2025](#)).



Figura 4-29. Perfiles de las playas priorizadas para el muestreo de Basura Marina y Microplásticos, el 4 de septiembre de 2025, en el departamento del Atlántico. Playa Punta Astilleros (A), Playa Puerto Velero (B), Playa Salgar (C), Playa Puerto Colombia (D), Playa Caño Dulce (E), Playa Santa Verónica (F).

En las playas donde se registró basura marina, se identificó que los plásticos correspondieron al material con mayor representatividad, alcanzando el 98% del total, constituido principalmente por fragmentos de poliestireno expandido, fragmentos de vasos y utensilios de un solo uso, tapas de botellas PET, palillos, envoltorios y envases de alimentos y fragmentos plásticos sin identificar, seguido de metales (2 %) representado por tapas de bebidas (Figura 4-30; Figura 4-31).

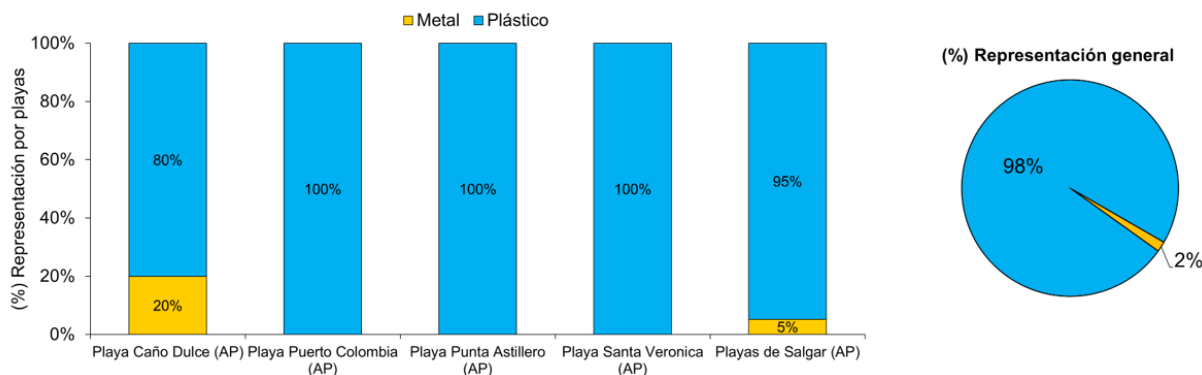


Figura 4-30. Representación de los diferentes materiales de basura marina en las playas priorizadas del departamento del Atlántico, registrados en el muestreo realizado el 4 de septiembre de 2025.



Figura 4-31. Objetos y accesorios plásticos encontrados en las playas priorizadas del departamento del Atlántico, recolectados en el muestreo llevado a cabo el 4 de septiembre de 2025.

A pesar de la reducción observada en la abundancia de basura marina en las playas turísticas del departamento del Atlántico respecto al 2024, los resultados del muestreo del 2025 evidencian que los plásticos continúan siendo el tipo de material de basura marina con mayor representación (>98%) en todas las playas turísticas del Atlántico analizadas (Figura 4-30). Esto sugiere que si bien las acciones implementadas, en el marco del impulso turístico estratégico en materia de ordenamiento, educación ambiental y fortalecimiento de la gestión de residuos han contribuido a disminuir la cantidad total de desechos en las playas, aún se evidencia el uso de materiales plásticos de un solo uso. Esta situación, genera un factor de riesgo para la calidad de agua y la arena de playa ([Bejarano et al., 2014](#)); por lo cual se resalta la necesidad de consolidar y mantener las estrategias de reducción en la fuente y de gestión integral de residuos, especialmente en zonas turísticas y en áreas con influencia o descargas fluviales que favorecen la acumulación de plásticos.

Así mismo, aunque el creciente impulso turístico en el departamento del Atlántico ha contribuido a la recuperación y el mejoramiento de las playas, esto implica nuevos desafíos asociados al aumento de las actividades de consumo de turistas y locales, las cuales, si no se acompañan de un manejo adecuado de los residuos sólidos y de infraestructura suficiente, generarán mayor presión sobre los ecosistemas costeros, lo cual podría intensificar la problemática de contaminación por plásticos en las zonas costeras. En este contexto, resulta prioritario implementar estrategias integrales orientadas a reducir el uso de plásticos de un solo uso en actividades comerciales vinculadas al turismo, tales como empaques de icopor,

vasos desechables y utensilios plásticos e integrar programas de limpieza y monitoreo continuo que garanticen la conservación de la calidad ambiental de las playas del Atlántico.

Microplásticos

Durante el muestreo de septiembre de 2025, en las playas priorizadas del departamento del Atlántico, se registraron concentraciones de microplásticos (300 μm – 5 mm) que oscilaron entre 38 y 1.837 ítems/ m^2 (Figura 4-32). Las mayores concentraciones se observaron en Punta Astillero (1.837 ítems/ m^2) y Salgar (774 ítems/ m^2), mientras que en Puerto Velero (38 ítems/ m^2) y Puerto Colombia (86 ítems/ m^2) se registraron las menores abundancias (Figura 4-32).

El análisis histórico evidenció un incremento de la concentración de microplásticos en la estación de Punta Astillero, comparado con el muestreo del 2024 (1.302 ítems/ m^2) ([INVEMAR-CRA, 2024](#)); no obstante, las abundancias registradas en 2025 continúan siendo considerablemente menores que las reportadas en 2022 y 2023, años en los que esta playa mostró los valores más altos ([INVEMAR 2023, 2024](#)). Un comportamiento similar se presentó en Santa Verónica, en donde se observó un aumento respecto al 2024 (18 ítems/ m^2) y las abundancias en 2025 (147 ítems/ m^2) permanecen muy por debajo de lo registrado en 2022 (384 ítems/ m^2) y 2023 (209 ítems/ m^2) ([INVEMAR 2023, 2024](#)).

En contraste, Puerto Velero y Puerto Colombia presentaron en 2025 las menores concentraciones de la serie histórica, observándose una tendencia a la disminución desde 2022 ([INVEMAR 2023, 2024](#)). Por su parte, Caño Dulce registró su mayor valor en 2025 (285 ítems/ m^2), evidenciando una posible tendencia creciente y una mayor acumulación reciente de microplásticos en esta playa.

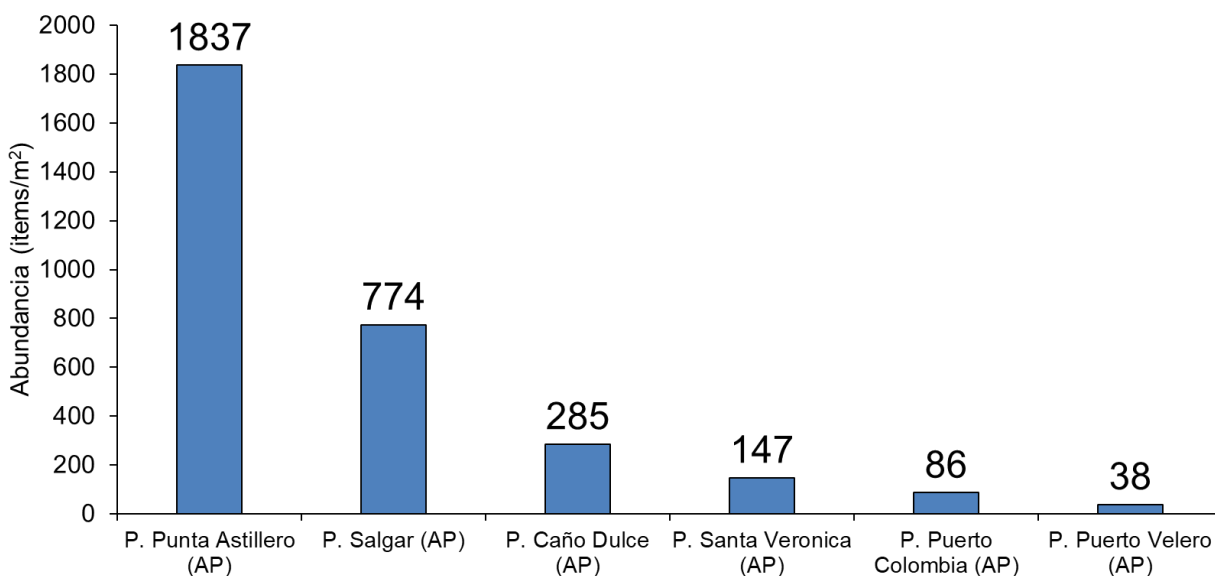


Figura 4-32. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playas priorizadas del Atlántico, colectadas el 4 de septiembre de 2025.

De las 990 partículas cuantificadas durante el muestreo de septiembre de 2025, los fragmentos fueron la forma más frecuente (75 %), seguidos por las espumas (20 %); los filamentos y películas aportaron cada uno un 2 %, y los pellets representaron menos del 1 % del total (Figura 4-33). Esta distribución indica que el 99 % de los microplásticos cuantificados son de origen secundario; es decir, derivados de la fragmentación de residuos plásticos de mayor tamaño, tales como: botellas, tapas, envoltorios y poliestireno expandido, entre otros. La fragmentación de los plásticos de mayor tamaño puede ocurrir in situ, es decir, a partir de residuos plásticos que son depositados de manera directa o indirecta en la playa y se fragmentan progresivamente en partículas menores a 5 mm ([Pfohl et al., 2025](#)), debido a la exposición a la radiación ultravioleta y las altas temperaturas en la arena, condiciones que favorecen la foto-oxidación y termo-oxidación de los plásticos. Estos procesos inducen ruptura de cadenas poliméricas, disminuyen el peso molecular y provocan la pérdida de ductilidad, acelerando la pérdida de integridad estructural de los polímeros, especialmente de los *commodity plastics* ([Delorme et al., 2025](#); [Chamas et al., 2020](#)). En este estado de degradación, la abrasión mecánica por el oleaje, viento y los sedimentos aplica tensiones físicas que facilitan su fractura bajo esfuerzos mínimos, favoreciendo así la generación de microplásticos secundarios ([Prado Domercq, Praetorius & MacLeod, 2022](#); [Lobelle et al., 2021](#)). Los plásticos también pueden fragmentarse en zonas externas a la playa, como, por ejemplo, en el mar abierto, estuarios y áreas urbanas, y posteriormente ser transportados hacia la costa por efecto de corrientes marinas, mareas o vientos dominantes, depositándose directamente como microplásticos. De esta manera, la

mezcla de procesos locales y regionales puede contribuir a la presencia de microplásticos secundarios en las playas del departamento del Atlántico.

La composición por formas también mostró variaciones entre playas. En Punta Astillero, Caño Dulce, Santa Verónica y Puerto Velero, predominaron los fragmentos, una forma asociada a la degradación de una amplia variedad de plásticos rígidos. En Salgar y Puerto Colombia, las espumas fueron la categoría dominante, lo que sugiere un mayor aporte de residuos de poliestireno expandido (EPS), comúnmente utilizado en recipientes para alimentos, empaques, cajas de conservación térmica, en aplicaciones de construcción y aislamiento, entre otros. Aunque tanto fragmentos como espumas pueden originarse por procesos similares de degradación ambiental, las espumas tienden a indicar una presencia más directa de productos elaborados en EPS. Adicionalmente, Puerto Colombia fue la única playa donde se registraron pellets (4 %), un indicador puntual de ingreso de resinas plásticas de origen primario preindustriales (Figura 4-33).

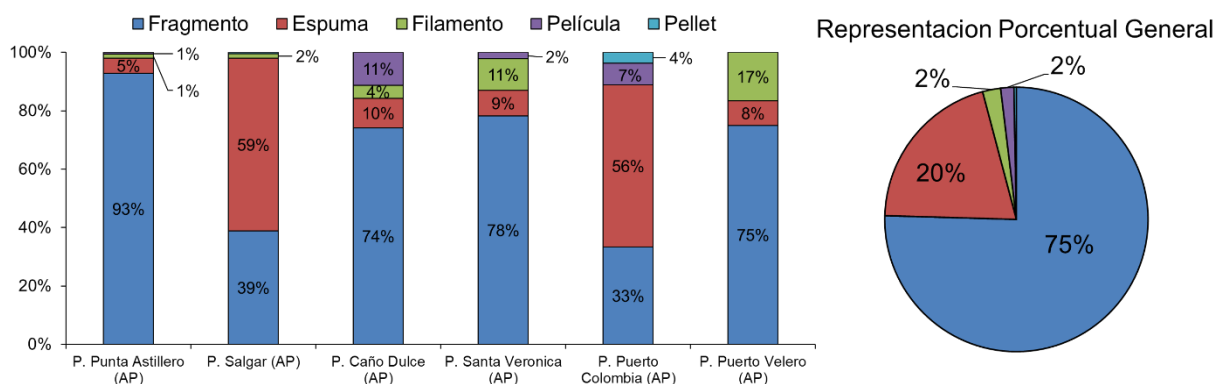


Figura 4-33. Porcentajes de la representación de formas identificadas en los microplásticos de las muestras de arena de playas priorizadas del Atlántico.

4.1.6. Actualización del sistema de información REDCAM

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 1, 2, 3 y 4 de septiembre de 2025, disponible en el portal Servicios de catalogación de información de Metadatos del SIAM - GeoNetwork en <https://n2t.net/ark:/81239/m9bd90>. 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 4-34).

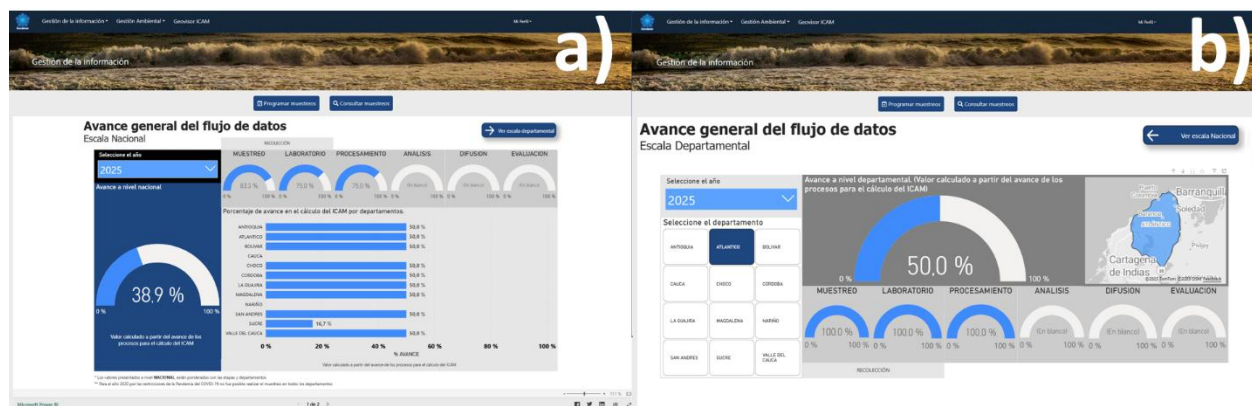


Figura 4-34. DashBoard del avance general del flujo de datos del muestreo realizado en el departamento del Atlántico. a) Flujo de datos de muestreos a escala nacional. b) Flujo de datos a escala departamental – representación del departamento del Atlántico.

Los usuarios de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) y el público en general pueden acceder a los servicios Web REDCAM (Figura 4-3) módulo de estadísticas, geovisor (visor geográfico), indicador de calidad de aguas y cartografía dinámica en línea en <http://siam.invemar.org.co/redcam>. 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 4-35 y Figura 4-36).



4.1.7. Curso Taller REDCAM 2025

Por medio del oficio DGI-SCI-CAM-1360 del 23 de octubre de 2025 ([Anexo 6](#)) se remitió la invitación a la CRA para ser participe en el Curso Taller REDCAM 2025 “Mini curso teórico práctico de herramientas del sistema REDCAM para abordar los estresores marinos y costeros”. El curso taller se realizó con éxito los días 19 y 20 de noviembre de 2025 en modalidad presencial y con alternativa virtual en la plataforma de Microsoft Teams. La funcionaria designada por la CRA Yury Calderón Urrego, cumplió con su participación en el evento ([Anexo 7](#)) (Figura 4-37).

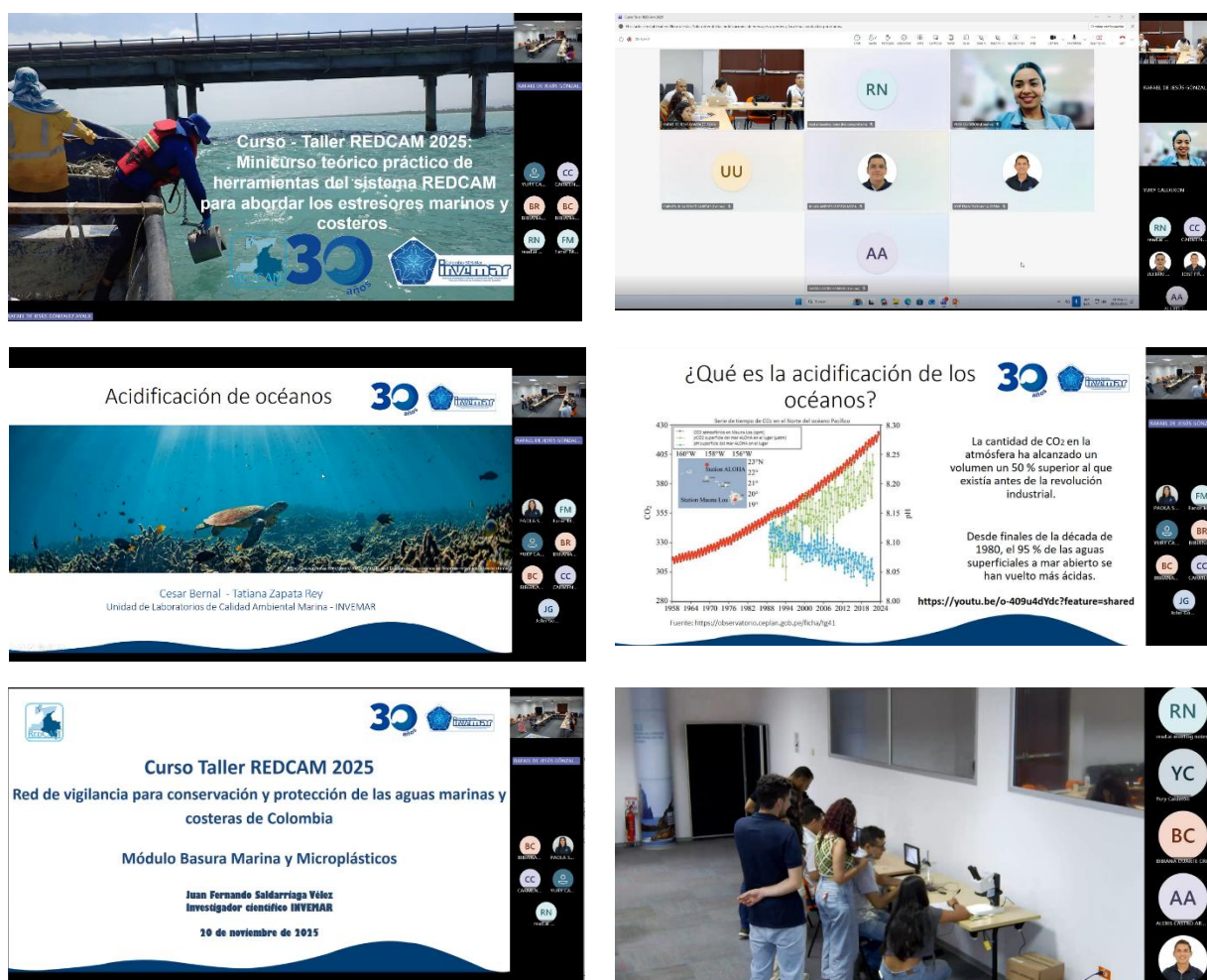


Figura 4-37. Evidencias de realización del Curso Taller REDCAM 2025 “Mini curso teórico práctico de herramientas del sistema REDCAM para abordar los estresores marinos y costeros”, llevado a cabo el 19 y 20 de noviembre de 2025 en Santa Marta (Magdalena).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La evaluación de la calidad del agua marina y costera del departamento del Atlántico para septiembre de 2025, realizada mediante la aplicación del Índice de Calidad de Agua Marina y Costera para la Preservación de la Flora y la Fauna (ICAM_{PFF}), evidenció condiciones inadecuadas en la estación Bocas de Ceniza. Esta clasificación se asocia principalmente con la presencia de altas concentraciones de nitratos, sólidos suspendidos totales y coliformes termotolerantes, lo que refleja una influencia significativa de aportes continentales y presiones antrópicas sobre este sector. La estación Rincón Hondo presentó una calidad de agua aceptable, y en las estaciones P. Caño Dulce, Punta Roca, P. Pradomar, P. Puerto Colombia, Ciénaga de Mallorquín–Playa, Arroyo León y Ciénaga de Mallorquín–La Barra se registraron condiciones de calidad de aguas marinas y costeras adecuadas.
- La calidad microbiológica del agua para contacto primario en las estaciones Bocas de Ceniza, Las Flores, Base-Naval-17 y Darsena Barranquilla, ubicadas en la zona del río Magdalena, mostró un deterioro de acuerdo con lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; toda vez que las concentraciones de coliformes termotolerantes y coliformes totales se encontraron por encima del límite permisible. Esta situación refleja la necesidad de diseñar e implementar acciones para el tratamiento de aguas residuales municipales, que propendan a disminuir los impactos en la calidad del recurso hídrico marino costero del departamento.
- En las playas de Puerto Velero, Pradomar y Puerto Colombia, en el mes de septiembre de 2025, no se registró la presencia de *Vibrio* sp. en las muestras de arena de playa recolectadas. No obstante, se recomienda mantener el monitoreo preventivo de estos microorganismos como una herramienta de alerta de gran relevancia por ser especies potencialmente patógenas para el ser humano y debido a que la arena de playa puede actuar como un reservorio ambiental que podría favorecer su acumulación.
- El monitoreo realizado en septiembre del 2025 evidencia que la contaminación por microplásticos persiste en las playas del departamento del Atlántico, con variaciones espaciales y temporales entre sitios. La predominancia de microplásticos de origen secundario confirma que la degradación de residuos plásticos de mayor tamaño continúa siendo una fuente relevante de contaminación costera. Se recomienda fortalecer las acciones de prevención, manejo integral y reducción de residuos plásticos en las playas priorizadas, con énfasis en el control de fuentes locales y el seguimiento continuo mediante programas de monitoreo que permitan evaluar la efectividad de las medidas implementadas.

- En conjunto, los resultados de Puerto Velero indican que, durante septiembre de 2025, el sistema de carbonatos a 1 m de profundidad estuvo dominado por controles físico-químicos, especialmente salinidad, mezcla y ventilación, lo que mantuvo valores relativamente estables de AT, CID y pH, así como condiciones sobresaturadas para calcita y aragonita. Aunque estas características todavía favorecen la calcificación biológica, la $p\text{CO}_2$ superficial superó los valores atmosféricos recientes, en consecuencia, aunque las condiciones de saturación son buenas, el área se comportó como fuente neta de CO_2 y mostró una vulnerabilidad potencial ante el avance del calentamiento oceánico y el aumento sostenido del dióxido de carbono antropogénico.

5. IDENTIFICAR LA CONDICIÓN ACTUAL DEL ECOSISTEMA DE ARRECIFES CORALINOS EN EL SECTOR DE PUERTO VELERO Y REALIZAR UN INVENTARIO DE ESPECIES ASOCIADA AL ECOSISTEMA CORALINO, IDENTIFICANDO ESPECIES REGISTRADAS EN LAS LISTAS DE INVASORAS, ENDÉMICAS, EN PELIGRO, VULNERABLES ETC.

Preparado por: Vanessa Yepes Narváez, Raúl Navas Camacho, Alejandro Rodríguez Sánchez, Edison Lea Charris.

METODOLOGÍA

5.1.1. Estado actual de arrecifes coralinos

Para evaluar el estado de la formación coralina, se realizaron 5 transectos de 25 m con la metodología de transecto intercepto ([Hill y Wilkinson, 2004](#)) mediante el uso de flexómetros, donde la visibilidad lo permitiera. En estos transectos, se registró la cobertura de los principales componentes del fondo allí encontrados bajo la cinta métrica, al nivel taxonómico más bajo posible. 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 blanqueamientos asociados y otros indicadores de estrés fisiológico.

5.1.2. Análisis de resultados de fauna asociadas a ambientes coralino.

5.1.2.1. Fase de campo

La fauna asociada a los ambientes coralinos se evaluó por medio de recorridos de buceo errante en donde se recolectaron especímenes manualmente y a partir de la concentración del ADN ambiental acuático en las zonas aledañas a las formaciones coralinas con el objetivo de ampliar el inventario de biodiversidad asociada. La Figura 5-1, ilustra la ubicación de las estaciones de muestreo de la biodiversidad y de ADN ambiental.



Figura 5-1. Mapa del área de estudio con las estaciones de recolecta de individuos y toma de muestras para ADN ambiental

Los especímenes recolectados asociados a los ecosistemas de coral fueron narcotizados en solución de Cloruro de Magnesio ($MgCl_2$) durante dos horas previo a su preservación en etanol de grado molecular (96%) en donde se rotularon los especímenes con la fecha y datos asociados a su captura. Las muestras fueron almacenadas en neveras plásticas alejadas de las altas temperaturas y la luz hasta su posterior traslado al laboratorio de Biología molecular del Museo de Historia Natural Marina de Colombia – MAKURIWA del INVEMAR.

En el caso de la maniobra de ADN ambiental, el muestreo consistió en la filtración de dos réplicas de agua de mar a 1m de profundidad a una tasa de 1L por minuto en las estaciones pre-establecidas (Figura 5-1). La filtración se realizó empleando bombas peristálticas Athena® (Proactive Environmental Products LLC) y cápsulas de filtración de flujo cruzado VigiDNA® 0,45 μm adheridas a una manguera estéril desechable siguiendo el método de Biggs et al. (2015) para concentrar el ADN ambiental circundante. Las seis muestras obtenidas se preservaron en buffer CL1 a temperatura ambiente hasta su análisis en laboratorio.

5.1.2.2. Fase de laboratorio

Barcoding del ADN

Una vez en laboratorio, el proceso consistió en la separación de los especímenes por phylum, la identificación taxonómica empleando caracteres morfológicos, seguido por la toma de fotografías diagnósticas para cada ejemplar. Luego se realizaron cortes de tejidos para análisis moleculares y se preservaron en etanol de grado molecular para su ingreso a las colecciones de referencia del MHNMC. El proceso de ingreso a colecciones resultó en 134 especímenes depositados en 12 colecciones biológicas (Tabla 5-1).

Tabla 5-1. Relación del número de especímenes o lotes ingresados a las colecciones de referencia del MHNMC derivadas de las recolectas en campo en la ensenada de Puerto Velero.

Colección de referencia	No. de lotes	ID del proceso	Constancia de depósito (Anexo 8)
Moluscos	17	96595	CD7725
Poríferos	11	96596	CD7825
Rodofitas	1	96597	CD7925
Ocrofitas	1	96598	CD8025
Clorofitas	1	96599	CD8125
Peces	3	96602	CD8225
Anélidos	29	96572	CD8325
Crustáceos	31	96586	CD8425
Briozoos	2	96588	CD8525
Tunicados	6	96590	CD8625
Cnidarios	13	96591	CD8725
Equinodermos	19	96592	CD8825
TOTAL	134		

Luego, a cada tejido se le realizó extracción de ADN empleando una modificación del método expuesto por Miller et al. (1988) y Doyle y Doyle (1987), el cual consiste en la separación del material genético por medio de la precipitación de sales. Posteriormente, el material genético extraído se cuantificó mediante espectrofotometría y el análisis de calidad tuvo en cuenta los índices 260/280 y 260/230, se evaluó la concentración de ADN la cual debía ser >20ng/μL, el grado de contaminación (índice 260/230) que debía tener valores entre 1.8–2.0 ± 0.2, y la pureza

del material genético (índice 260/280) que debía presentar valores entre $2.0-2.2 \pm 0.2$ para que la extracción de ADN se considerara positiva, para un total de 105 extracciones de ADN positivas (80%) de las cuales el grupo que obtuvo mayor cantidad de extracciones positivas fueron los crustáceos con 22 (24%), seguido de los anélidos con 20 (22%) y los equinodermos con 11 (12%) (Figura 5-2).

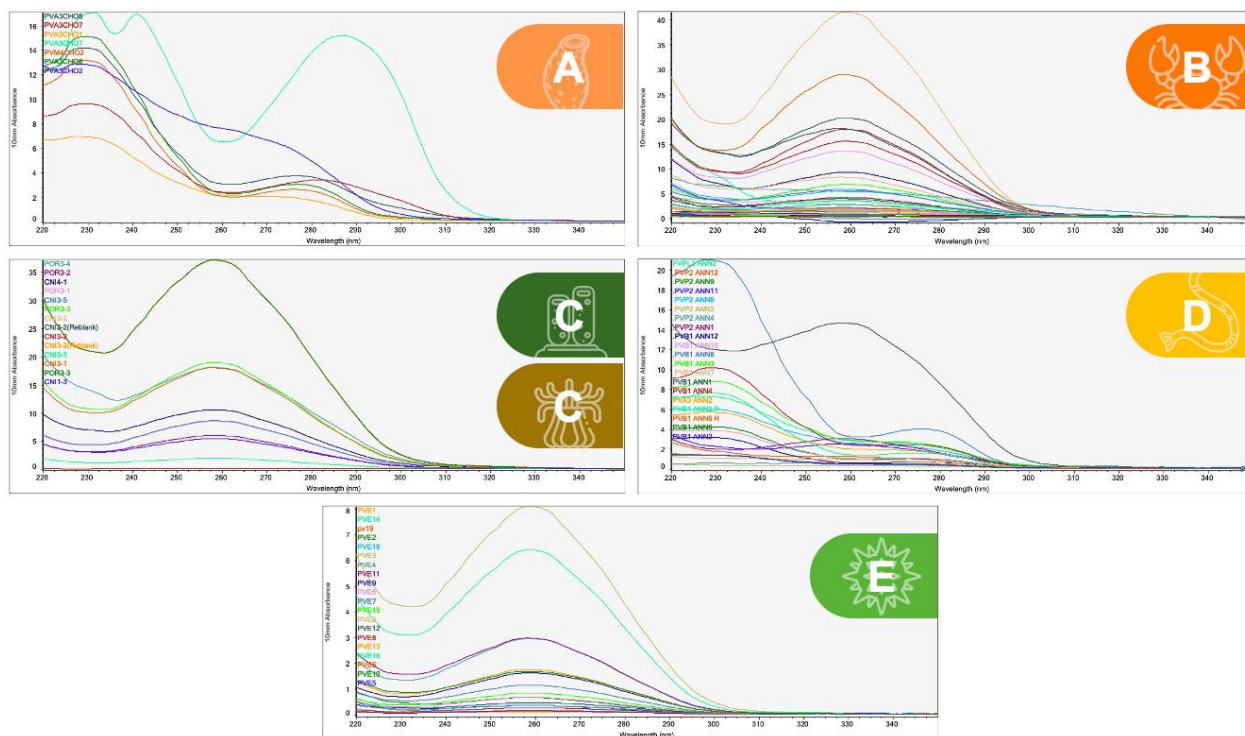


Figura 5-2. Perfiles espectrales obtenidos de los grupos: A. Ascidiacea, B. Crustacea, C. Porifera y Cnidaria, D. Annelida y E. Echinodermata.

Aquellas muestras cuyos valores se encontraban dentro de los establecidos fueron amplificados por PCR (Reacción en cadena de la polimerasa según sus siglas en inglés). En este proceso, se emplearon cebadores universales y específicos para cada filo para la codificación del gen COI (Citocromo oxidasa 1). Además, y se emplearon cebadores que codifican otros genes, por ejemplo, para el filo Porifera se emplearon cebadores para el gen 28S y para el filo Annelida el gen 18S. La amplificación de ADN se verificó por medio de electroforesis empleando geles de agarosa al 2%. Aquellas muestras cuyo producto de PCR fue positivo se prepararon para su secuenciación (Figura 5-3).

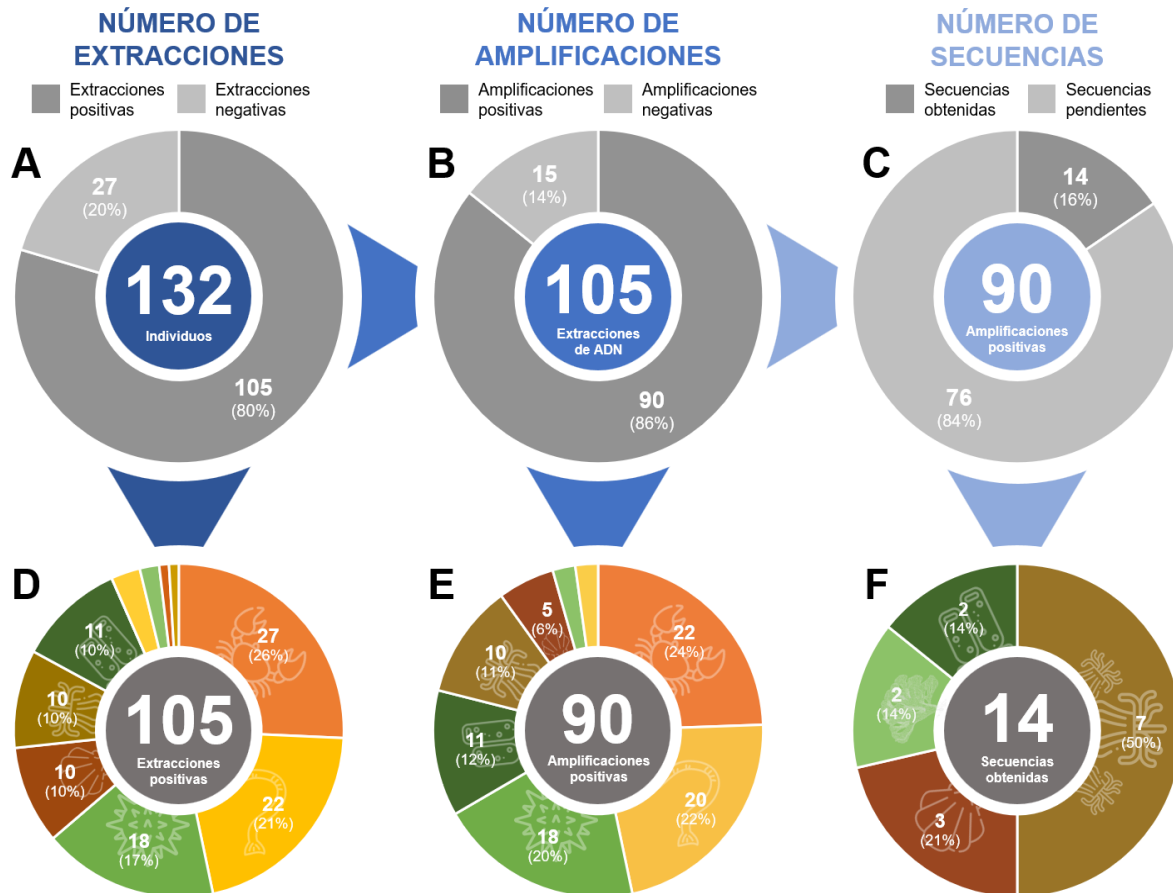


Figura 5-3. Relación del número de total de extracción, amplificación y secuencias obtenidas respecto al número total de individuos recolectados y su distribución en los diferentes grupos taxonómicos. A. Número de extracciones de ADN positivas con respecto al número total de individuos recolectados. B. Número de amplificaciones de ADN positivas con respecto al número total de extracciones de ADN positivas. C. Número de secuencias obtenidas según el total de amplificaciones de ADN positivas. D. Distribución taxonómica de las extracciones de ADN positivas. E. Distribución taxonómica de las amplificaciones de ADN positivas y F. Distribución taxonómica de las secuencias obtenidas.

Se consideró un resultado positivo de amplificación de ADN cuando se evidenció una banda blanca en el proceso de verificación por medio de electroforesis empleando gel de agarosa al 2%, como se observa en la Figura 5-4. De las 105 extracciones de ADN positivas se obtuvieron un total de 90 (86%) amplificaciones de ADN positiva, como se evidencia en la Figura 5. Los grupos más representativos en cuanto a número de amplificaciones son los crustáceos con 22 (24%) muestras positivas, seguido de anélidos con 20 (22%) y equinodermos con 18 (20%) muestras positivas. En el caso particular de los equinodermos, todas las extracciones positivas obtuvieron amplificación de ADN positiva, al igual que las esponjas marinas y los briozoos. Por otro lado, los grupos que menor cantidad de amplificaciones de ADN positivas obtuvieron con

respecto a la cantidad total de extracciones positivas fueron los moluscos, contando con 5 amplificaciones positivas de 10 extracciones de ADN positivas (Figura 5-4).

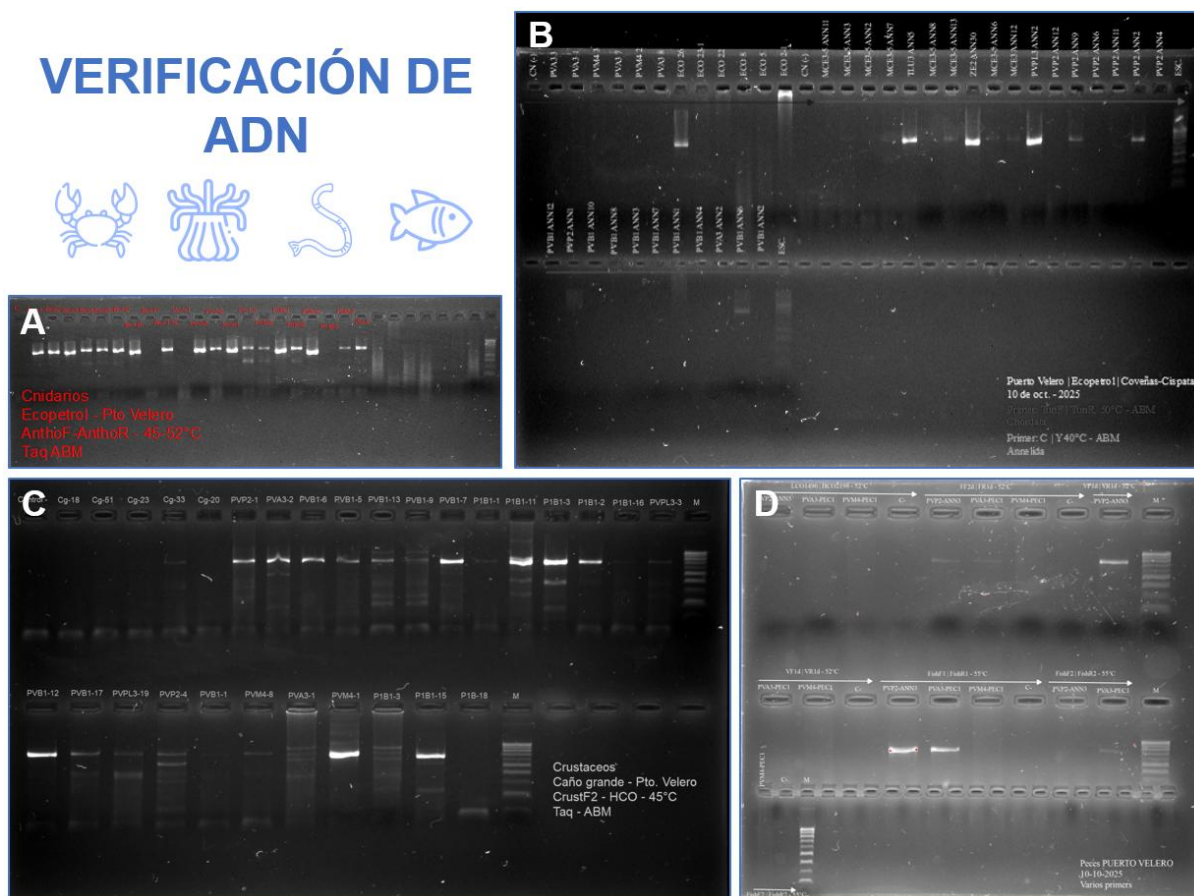


Figura 5-4. Resultados positivos de verificación de ADN mediante electroforesis empleando geles de agarosa al 2%. Resultados positivos de: A. cnidarios, B. anélidos, C. crustáceos y D. peces.

Se realizó una solicitud del permiso de exportación de material biológico de especímenes NO listados en los apéndices CITES con la finalidad de enviar los productos de PCR positivos obtenidos a secuenciar. El proceso de secuenciación se realizó empleando la secuenciación tipo Sanger cuyo fundamento se basa en la terminación de la secuenciación de la cadena de ADN por medio de didesoxinucleótidos. Una vez obtenidas las secuencias de ADN, se realizó el análisis bioinformático utilizando los softwares Geneious prime V 2025.2.2. y MEGA para la edición, limpieza, purificación y alineación de secuencias genéticas. Las secuencias genéticas pertenecen mayormente al grupo de los cnidarios (50%), moluscos (21%), briozoos (14%) y esponjas (14%). La publicación en la base de datos de referencia de BOLDSystems resultó en 105 secuencias y 20 códigos de barras genéticos.

Metabarcoding del ADN ambiental

En cuanto a las muestras de ADN ambiental, a cada filtro preservado se le extrajo el material genético. La extracción, amplificación y secuenciación del ADN ambiental obtenido se realizó bajo estricto cuidado e higiene para asegurar la integridad de los resultados. El proceso de extracción del ADN ambiental, se realizó siguiendo el protocolo de Yepes-Narváez et al. (2025) y las amplificaciones por PCR se realizaron utilizando dos pares de cebadores mitocondriales diferentes para el gen 12S del ARNr, dirigidos a los eucariotas en general (Euka02, forward: - TTTGTCTGTTAATTSCG, reverse: - CACAGACCTGTTATTGC) ([Taberlet et al., 2018](#); [Guardiola et al., 2015](#); [Valentini et al., 2016](#)).

Los productos de PCR purificados se secuenciaron utilizando un secuenciador de nueva generación Illumina y se amplificaron cuatro controles de extracción negativos y dos controles de PCR negativos (agua ultrapura, 12 réplicas) por par de cebadores y se secuenciaron en paralelo a las muestras para identificar posibles contaminantes. Después de la secuenciación, las secuencias se procesaron para eliminar errores y se analizaron mediante programas implementados en el paquete OBITools (<http://metabarcoding.org/obitools>, [Boyer et al., 2016](#)) hasta conseguir las asignaciones taxonómicas, siguiendo los protocolos descritos por Valentini et al. (2016) y Marques et al. (2021).

Posteriormente, se evaluó la resolución del cebador para identificar al nivel taxonómico más bajo con la base de datos de OBITools. La lista obtenida fue validada con el apoyo de taxónomos expertos y se realizaron análisis ecológicos y estadísticos respectivos para entender la diversidad encontrada en la zona de estudio. Se creó un conjunto de datos separado para cada muestra dividiendo el conjunto de datos original en varios archivos usando OBISPLIT. Después, cada muestra se analizó individualmente antes de acoplarla a la lista de taxa para el análisis ecológico final. Las secuencias idénticas se agruparon utilizando OBIUNIQ y las secuencias con menos de 20 pb o con menos de 10 ocurrencias fueron excluidas utilizando el programa OBIGREP.

La asignación taxonómica de las secuencias restantes se realizó mediante el programa ECOTAG con referencia NCBI secuencia (www.ncbi.nlm.nih.gov). Las asignaciones taxonómicas fueron corregidas para evitar sobreestimaciones por lo que solo se aceptó la identificación con coincidencias de identidad del 100% (para el nivel de especie), 90%-99% (para nivel de género) o entre 85% y 99% de similitud (para nivel familia). Los resultados obtenidos se unificaron con los resultados de los transectos, recorridos de buceo y del barcoding del ADN para evaluar el estado ecológico del ecosistema coralino y de las comunidades bentónicas y pelágicas asociadas.

RESULTADOS

5.1.3. Estado actual de arrecifes coralinos

Contrario a las condiciones observadas durante la visita del año 2024, en esta oportunidad, las condiciones del clima presentaron un viento norte que agitaba constantemente el agua generando una visibilidad menor a 30 cm. Por esta razón no pudieron ser visitados exactamente los mismos puntos del año anterior. Sin embargo, los transectos se llevaron a cabo en las mismas zonas del arrecife, zona de *Millepora* spp. ([Weller, 2017](#)), zonas de coral escleractínios ([Reyes et al., 2010](#)) mixtos y ramificados.

En términos generales se observó que las condiciones de cobertura coralina y algal se mantienen similares para las áreas que conforman el arrecife, tal como el año anterior. No se evidenciaron colonias de corales pétreos con mortalidad completa que pudiesen atribuirse al blanqueamiento de 2023 y 2024. Por el contrario, sobre la zona más turbia y de menor profundidad, en la cresta cubierta por *Millepora* spp, se pudieron observar colonias de *Millepora complanata* con mortalidad total. Su estado cubierto por algas de tapete y frondosas y con pérdida parcial de las estructuras de los cálices por desgaste, evidenciaron que la mortalidad no es reciente.

La Figura 5-5 evidencia la cobertura de los principales componentes de fondo, el estado de conservación y de salud de los corales, medidos a través de los 5 transectos de 25 m, desplegados a través de las principales zonas del arrecife. La mayor cobertura de corales masivos se encontró en los transectos 1, 3 y 5 dispuestos hacia el costado sur y sur occidental del arrecife donde se hallan los bordes de la terraza y el talud. Las categorías de componentes de fondo utilizadas corresponden a la nomenclatura utilizada por los programas de monitoreo coralino del INVEMAR. Así entonces MASS corresponde a corales masivos; ENCO se usa para referenciar corales incrustantes en tanto BRAN corresponde a corales ramificados. La categoría MILL representa los corales de fuego. En cuanto a las algas se tienen dos grupos, las FALG que son algas frondosas y las TALG que son las algas de tapete. Finalmente están las esponjas que tienen dos categorías, las ENSP que son esponjas incrustantes y las ERSP cuya forma de crecimiento es erecta, en tubos o forma de cestos.

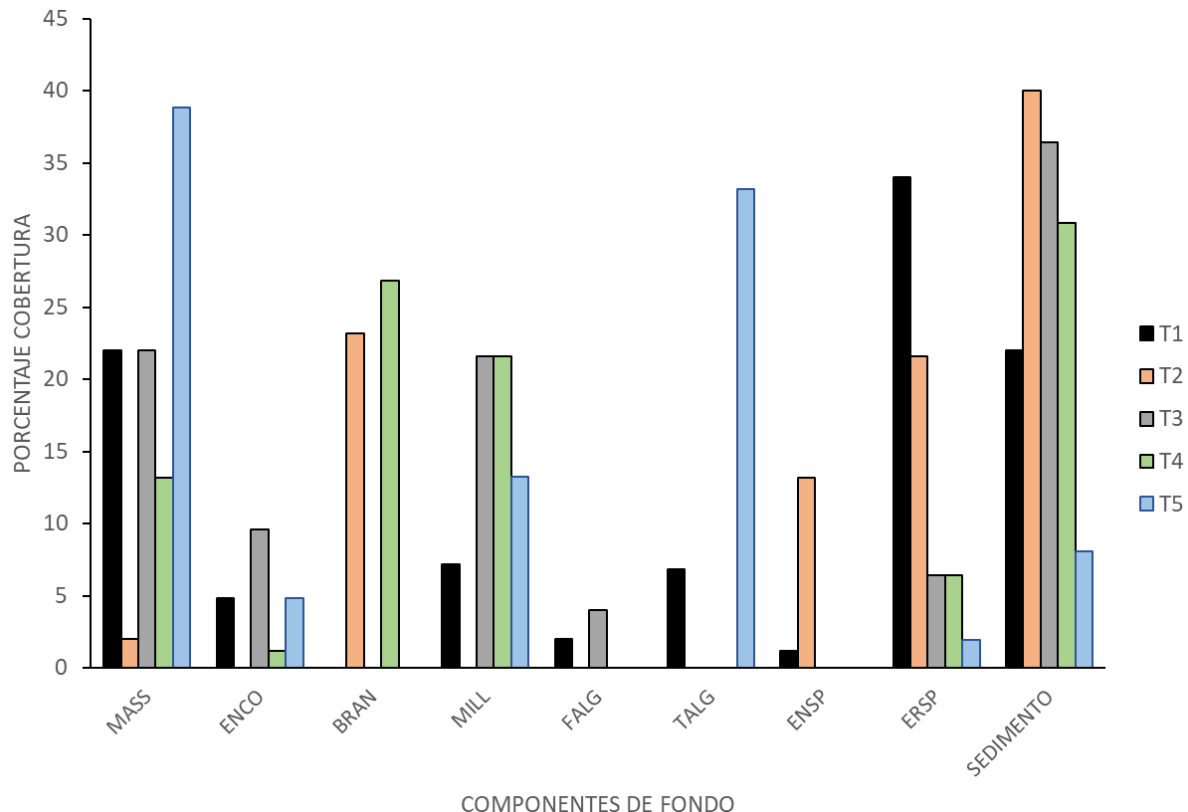


Figura 5-5. Cobertura de los principales componentes del fondo en cada uno de los 5 transectos desplegados en la formación coralina de Puerto Velero. MASS corales masivos; ENCO, corales incrustantes; BRAN, corales ramificados; MILL corales de fuego; FALG, algas frondosas; TALG, algas de tapete; ENSP esponjas incrustantes y ERSP esponjas erectas.

Por su parte los transectos 2 y 4 presentaron especies de crecimiento ramificado, *Oculina diffusa* y *Porites porites* desplegados en el extremo norte de la formación se ubican al final de la terraza de coral de fuego y sobre un fondo sedimentario, con algunas colonias masivas, coral de fuego y esponjas. La formación en tapete de ambas especies se ubica al borde de la terraza, pero no fue posible hallarla en esta oportunidad. Las colonias de crecimiento incrustante se encontraron en bajo número en todos los transectos.

Los corales de fuego están presentes en todos los transectos y con abundancia alta, y sobre la terraza están los máximos valores de estas especies, pero la dificultad para realizar mediciones fue difícil dada la poca profundidad pues la base de la terraza se halla a menos de 50 cm.

La Figura 5-6 evidencia los resultados de la evaluación de los fondos que permitió identificar como componente principal más abundante de este año a los sedimentos (27,4%), el cual

tenía presencia desde fangos hasta arenas finas en las porciones más cercanas al borde del arrecife. Su porcentaje alto corresponde probablemente al haber registrado la capa más superficial del fondo, que en este caso fue el cieno que cubría rocas, algas y corales muertos. En segundo lugar, este año se posicionaron los corales ramificados (*Oculina diffusa* y *Porites porites*), con un 25% y en tercer lugar del fondo corresponde a los corales masivos, con una cobertura del 20%, destacando a *Siderastrea siderea*, *Pseudodiploria strigosa* y *Pseudodiploria clivosa* como las especies más representativas. Los corales incrustantes presentan un bajo porcentaje (5,1%) dado que, si bien están abundantes en número, son colonias muy pequeñas que ocupan poco espacio.

Por su parte, los millepóridos o corales de fuego presentaron una cobertura del 16%, destacando solo en porciones específicas del área, o creciendo encima de corales duros y blandos muertos a lo largo de los transectos. Como se explicó anteriormente no se evaluaron transectos sobre la parte alta de la terraza. Las algas de tapete presentaron un porcentaje del 20% que junto con las algas frondosas pudo tener valores más altos de no haber estado cubiertos por sedimento. Así mismo, las esponjas erectas se registraron una cobertura de 14.1%, que muestra su importante papel de competidor por espacio.

Los demás componentes registrados tienen valores de cobertura inferiores al 10% al interior de la formación de coral. En resumen, la composición del fondo y la cobertura de corales y macroalgas se mantiene igual a los valores registrados en la primera evaluación de la formación coralina de Puerto Velero, situándola dentro de los valores hallados en otras áreas coralinas del Caribe colombiano ([Sánchez-Valencia et al., 2023](#)).

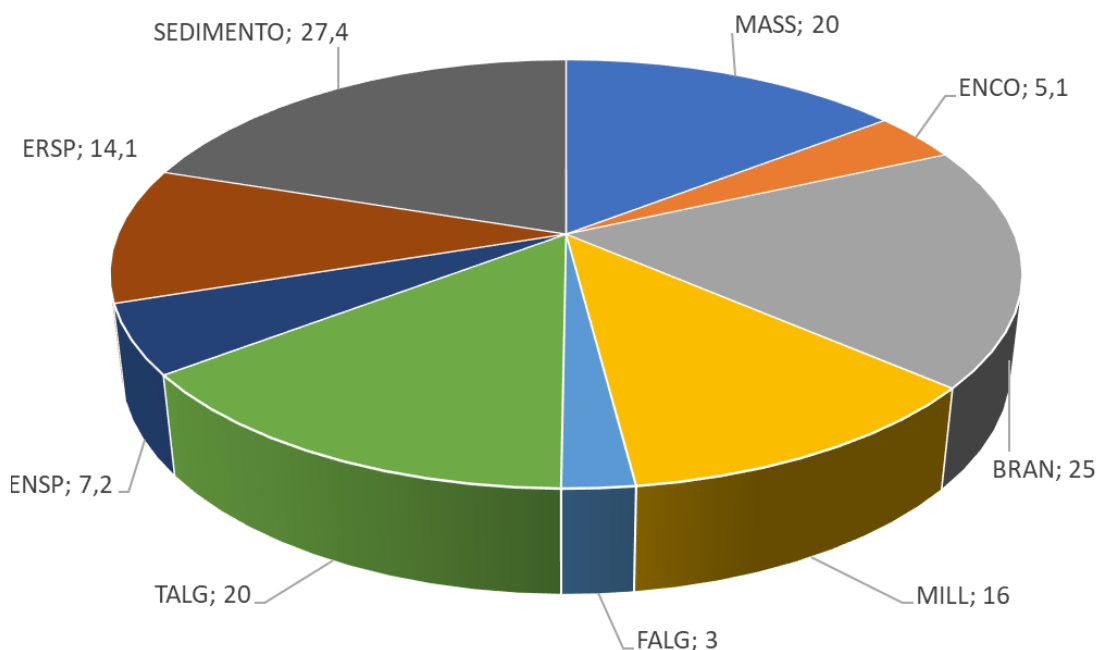


Figura 5-6. Porcentaje de cobertura de los principales componentes del fondo en los transectos de evaluación de la formación coralina de Puerto Velero. MASS corales masivos; ENCO corales incrustantes; BRAN corales ramificados; MILL corales de fuego; FALG, algas frondosas; TALG, algas de tapete; ENSP esponjas incrustantes y ERSP esponjas erectas.

Finalmente, la evaluación de la condición de salud de las colonias coralinas en la formación de coral de puerto Velero, evidencian la presencia de 5 familias de corales escleractínios y una de hidrocorales (Tabla 5-2). Se registraron 10 especies de escleractínios y dos de hidrocorales, para un total de 284 colonias evaluadas en los 5 transectos en banda. Las colonias se registraron teniendo en cuenta su especie, el tamaño aproximado para lo cual se siguió una escala empleada en el monitoreo de blanqueamiento. A 10x10 cm; B 25x25 cm; C 50x 50 cm; D 1x1 m; E 1,5x1,5 m; E 2x2 m y F 2,5x2,5 m. la estimación es visual.

No se encontró ninguna colonia afectada por blanqueamiento pese a tener registros de temperatura de 29° - 30° Celsius y no hizo evidente la muerte de colonias por acción del blanqueamiento 2023-2024. Solo dos colonias de *Millepora complanata* observadas durante el tránsito, presentaban mortalidad total reciente. Es importante mencionar que una formación de tan poca profundidad y con las temperaturas registradas no muestre signos constantes de blanqueamiento. Es posible que la alta turbidez permanente en el área juegue un papel importante en este sentido ([Van Woessik et al., 2022](#)) ya que limita la acción deletérea de la alta radiación solar y los vientos que permanentemente mueven las masas de agua no permitan que estas lleguen a temperaturas más elevadas como las registradas durante 2023-2024.

Tabla 5-2. Evaluación de salud arrecifal en bandas de 25 x 2, usando los 5 transectos de composición de fondos. La escala de tamaños ilustrada entre A y G corresponde a la metodología utilizada para evaluar el blanqueamiento en todas las áreas coralinas del país, implementada durante el año 2023.

Familia	Especie	Tamaño	Cantidad	Condición
Rizophoriidae	<i>Siderastrea siderea</i>	D	49	SANAS
	<i>Siderastrea siderea</i>	C	12	SANAS
	<i>Siderastrea siderea</i>	C	4	ELO
	<i>Siderastrea radians</i>	A	19	SANAS
	<i>Siderastrea radians</i>	B	5	SANAS
Faviidae	<i>Pseudodiploria clivosa</i>	C	12	SANAS
	<i>Pseudodiploria clivosa</i>	B	4	SANAS
	<i>Pseudodiploria strigosa</i>	C	30	SANAS
	<i>Colpophyllia natans</i>	D	1	SANAS
	<i>Favia fragum</i>	A	5	SANAS
Poritidae	<i>Porites astreoides</i>	C	8	SANAS
	<i>Porites astreoides</i>	B	19	SANAS
	<i>Porites porites</i>	B	34	SANAS
Astrocoeniidae	<i>Stephanocoenia intersepta</i>	B	3	SANAS
	<i>Stephanocoenia intersepta</i>	A	21	SANAS
	<i>Stephanocoenia intersepta</i>	A	2	ELO
Oculiniidae	<i>Oculina diffusa</i>	B	11	SANAS
Milleporidae	<i>Millepora complanata</i>	D	5	SANAS
	<i>Millepora complanata</i>	C	32	SANAS
	<i>Millepora squarrosa</i>	C	6	SANAS
A: 10x10 cm; B: 25x25 cm; C: 50x50 cm; D: 1x1 m; E: 1,5x1,5 m; F: 2x2 m; G: 2,5x2,5 m				

Como se evidencia, solo dos de las especies, *Siderastrea siderea* (4 colonias) y *Stephanocoenia intersepta* (2 colonias) fueron vistas con signos de la enfermedad de Lunares Oscuros. Estas dos especies son especialmente susceptibles a verse afectadas por esta enfermedad y que ha sido registrada desde inicios del monitoreo de corales en el país, en todas los arrecifes y formaciones coralinas del país ([Gil-Agudelo et al., 2009](#); [Navas-Camacho et al., 2010](#)).

Un componente importante de la formación coralina de Puerto Velero son los corales de fuego o milleporidos. Se registraron dos especies, *Millepora squarrosa* ([Lamarck, 1816](#)) y *Millepora complanata* ([Lamarck, 1816](#)) (

Figura 5-7) ampliamente distribuidas por toda la formación de coral. Sobre la cresta su abundancia es alta, pero está igualmente presente entre las colonias de corales pétreos, en un número considerable.

De estas, la más abundante y con colonias con mayor tamaño en el sector de Puerto Velero es *M. complanata*, compitiendo por espacio con los corales pétreos tanto en la zona de colonias ramificadas como donde predominan las colonias masivas e incrustantes.

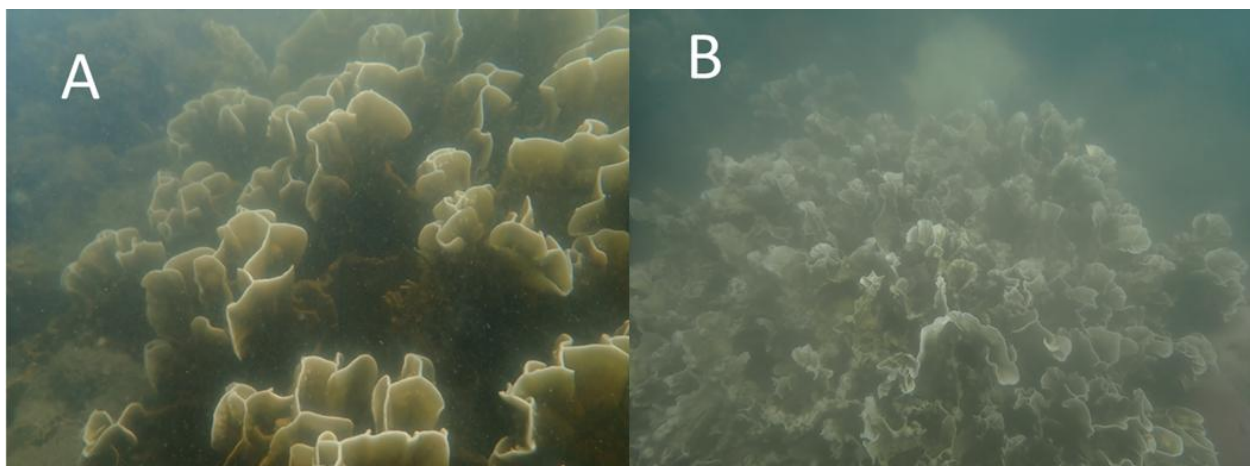


Figura 5-7. Colonias de hidrocorales observados en la formación coralina de Puerto Velero. A) *Millepora squarrosa* y B) *Millepora complanata*

Con respecto a los corales escleractínios o pétreos la formación sigue siendo conformada por especies de tipo de crecimiento masivo (*Siderastrea siderea*, *Pseudodiploria strigosa*, *Pseudodiploria clivosa*, *Colpophyllia natans* y *Porites astreoides*) (Figura 5-8), crecimiento incrustante (*Siderastrea radians* y *Stephanocoenia intercepta*) (Figura 5-9) y colonias ramificadas (*Porites porites* y *Oculina diffusa*) (Figura 5-10).

De estas especies, *Siderastrea siderea* muestra los mayores tamaños, así como el mayor número de colonias. Se le encuentra a lo largo y ancho de la formación, dominando especialmente en los bordes de la misma, hallándosele hasta los 3 o 4 metros de profundidad. Puede alcanzar diámetros de hasta 1 m, con buenas condiciones de salud.

Tanto *Pseudodiploria strigosa* como *Pseudodiploria clivosa* se hallan igualmente distribuidas por la zona de corales mixtos y rodeando la terraza de coral de fuego. Se les encuentra de tamaños entre los 15 cm hasta más de 50 cm de diámetro. Como es común, *P. strigosa* puede verse desde 1 m hasta los 4 m donde suele empezar la capa sedimentaria. *P. clivosa* por el contrario es más fácilmente observable a menores profundidades, cerca de la cresta y a no más de 2 m.

Finalmente, las colonias de *Porites astreoides* no alcanzan en esta formación tamaños de más de 25 cm y se encuentran distribuidas en las zonas de corales mixtos y de corales de fuego. Unos pocos ejemplares pueden verse en el sector de los corales ramificados.

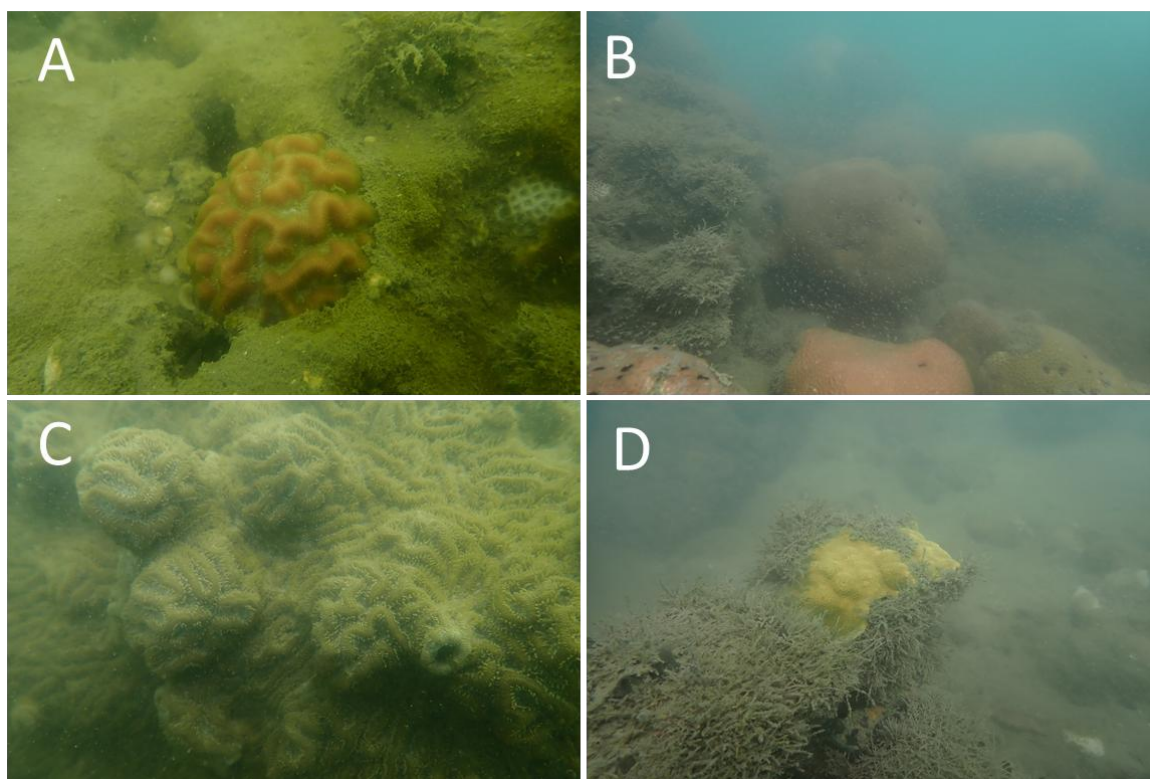


Figura 5-8. Colonias coralinas de crecimiento masivo. A) *Pseudodiploria strigosa*; B) *Siderastrea siderea*; C) *Pseudodiploria clivosa* y D) *Porites astreoides*.

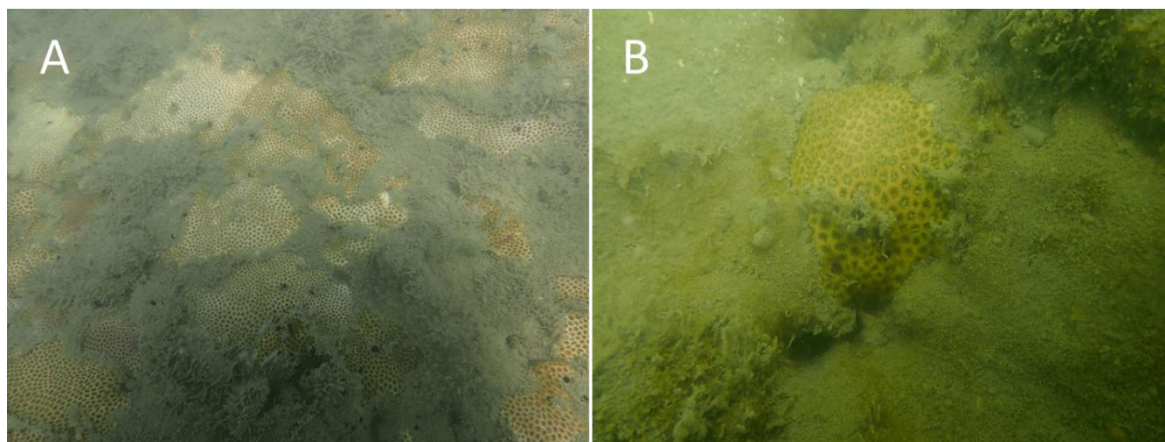


Figura 5-9. Colonias coralinas de crecimiento incrustante. A) *Stephanocoenia intersepta* y B) *Siderastrea radians*.

Por su parte dos especies presentaron tipo de crecimiento incrustante (Figura 5-9). *Siderastrea radians* normalmente es hallada en este estado, con colonias que no superan los 25 cm de diámetro. Por otro lado, *Stephanocoenia intersepta* puede encontrarse tanto de

forma incrustante como masiva, sin embargo, en la formación de Puerto Velero no fue posible hallarla con tamaño superior a 25 cm, posiblemente debido a la limitada visibilidad. Estas dos especies se encuentran en los sectores de corales mixtos y coral de fuego en cantidades elevadas de colonias como puede observarse en la Figura 5-9A, colonizando espacios dejados por antiguas colonias muertas de grandes tamaños. Se logró registrar una colonia del coral gran cerebro, *Colpophyllia natans* de 1m de diámetro, pero por estar en un sector muy turbio no fue posible lograr un registro fotográfico de buena calidad. Adicionalmente, pequeñas colonias de *Favia fragum* se podían ver en la formación coralina.

Finalmente, en el sector de colonias con tipo de crecimiento ramificado, se registraron las dos especies que fueron vistas desde hace dos años, *Porites Porites* y *Oculina diffusa*, quienes continúan encontrándose en el sector nororiental de la formación coralina. Como ya se mencionó el haber hallado *Oculina diffusa* y aún más, conformando un pequeño tapete, es importante para este sector pues normalmente se le ve dispersa en localidades de la Guajira, islas del Rosario y San Bernardo y Tayrona.

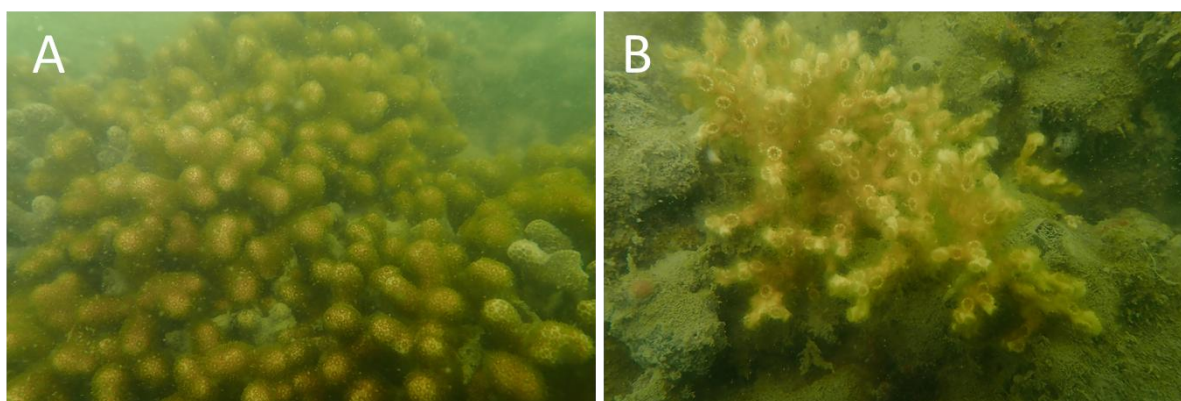


Figura 5-10. Colonias coralinas de crecimiento ramificado. A) *Porites porites* y B) *Oculina diffusa*.

No se registraron colonias con algún tipo de alteración debida a enfermedades de coral o blanqueamiento coralino. Normalmente suele verse la enfermedad de lunares oscuros sobre colonias de *Siderastrea sidera* de forma inactiva, sin estar matando el tejido vivo, pero en este caso no fue vista ninguna colonia con esta enfermedad.

Sin embargo, llamó la atención una alteración afectando algunas colonias de *Pseudodiploria clivosa*, *Porites astreoides* y *Siderastrea sidera* (Figura 5-11). Estas colonias mostraban bioerosión, alterando la forma de las colonias o viéndose solamente como pequeños orificios. En el caso de *Porites porites* y *Pseudodiploria clivosa* son gusanos excavadores (García-Ureña, 2022) que forman sus habitáculos en corales afectando apenas unos cuantos cálices, sin llegar a causar la muerte de la colonia. Por el contrario, en el caso de *Siderastrea*

siderea, es posible que se trate de una esponja socavante que eventualmente podrá recubrir la colonia parcial o totalmente, lo que podría causar su asfixia ([Marulanda-Gómez et al., 2020](#)) (Figura 5-11).



Figura 5-11. Bioerosión observada en algunas colonias de las especies A) *Porites astreoides*, B) *Pseudodiploria clivosa* y C) *Siderastrea siderea*

5.1.4. Análisis de resultados de fauna asociadas a ambientes coralino

5.2.2.1 Censos visuales

Entre la fauna acompañante de la formación coralina se lograron registrar fotográficamente algunos especímenes de distintas especies de invertebrados entre los que se destacaron los gorgonáceos *Antillogorgia* spp que forma una zona densamente poblada y se le pudo observar en las demás zonas definidas para la formación de coral. Las esponjas de la especie *Clathria* spp son comunes, al igual que una gran abundancia de erizos como *Diadema antillarum* y el erizo lápiz, *Eucidaris tribuloides* (Figura 5-12).

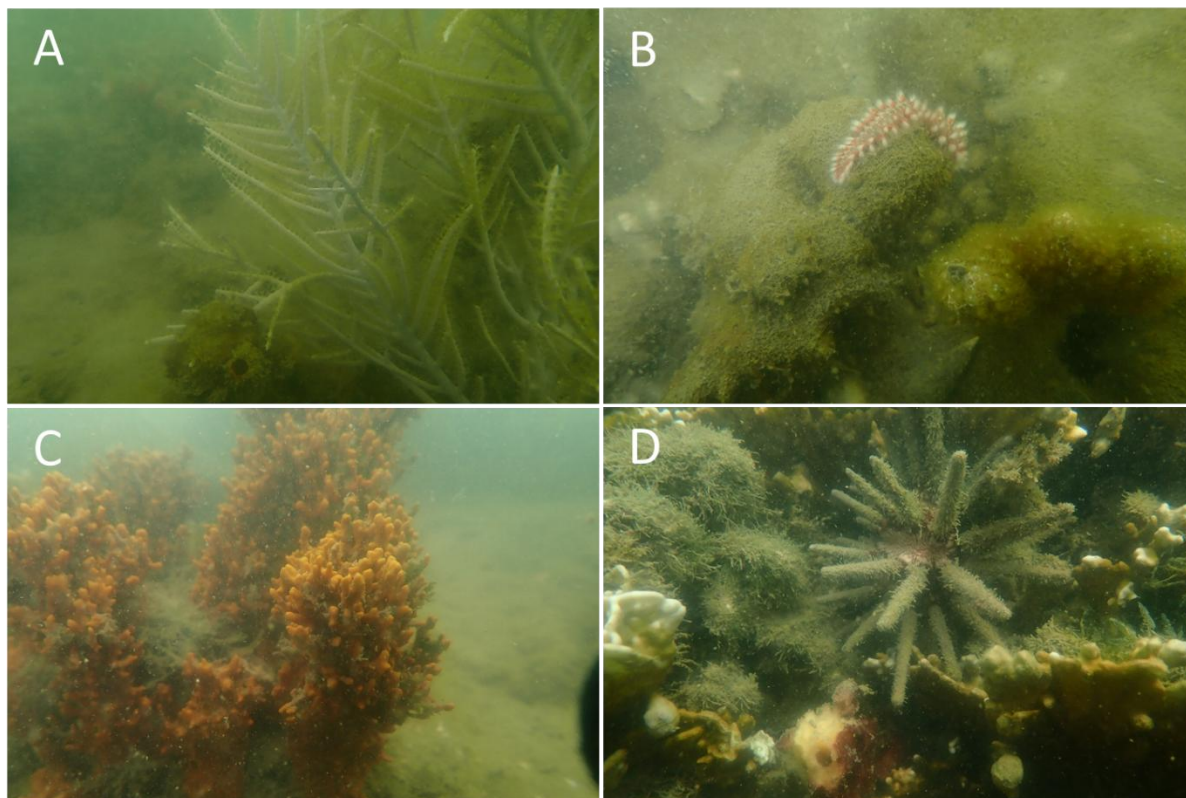


Figura 5-12. Fauna acompañante en la formación coralina de Puerto Velero. A) octoral del género *Antillologorgia* spp; B) Gusano de fuego *Hermodice carunculata*; C) Esponja erecta del género *Clathria* spp y D) erizo de espinas romas *Eucidaris tribuloides*.

Debido a la baja visibilidad fue complejo obtener un conteo exacto de especies ícticas sobre el arrecife, así como un registro fotográfico de los pocos especímenes vistos. Entre estos últimos se encuentran, el pez piedra *Scorpaena plumieri*, ronco *Haemulon aurolineatum*, las damiselas *Stegastes planifrons* y *Stegastes leucostictus* y el sargento mayor *Abudefduf saxatilis*. No hubo registro de la presencia de pez León en esta ocasión.

Los registros obtenidos a lo largo de las diferentes evaluaciones muestran un total de 29 especies observadas en la formación coralina de Puerto Velero (Tabla 5-3). De acuerdo con la Resolución 0126 de 2024, que lista las especies con algún nivel de amenaza, se encontraron 3 categorías para las presentes en este documento. DD es categoría cuando no se tienen datos suficientes para evaluar su estado; NT cuando se ha evaluado, pero no satisface los criterios de amenaza y LC preocupación menor, cuando se ha evaluado, pero no satisface los criterios para niveles de amenaza.

Ninguna de las especies registradas está considerada como exótica o invasora para el Gran Caribe o el Caribe colombiano.

Tabla 5-3 Listado de especies observadas en la zona coralina de Puerto Velero. Criterios según UICN sobre estado de conservación, DD datos insuficientes. NT casi amenazada; LC preocupación menor

Phylum	Clase	Orden	Familia	Genero / Especie	Categoría de estado
Porifera	Desmospongiae	Poecilosclerida	Microcionidae	<i>Clathria sp.</i>	DD
		Haplosclerida	Niphatidae	<i>Amphimedon viridis</i>	DD
Cnidaria	Hexacorallia	Scleractinia	Rhizangidae	<i>Siderastrea siderea</i>	NT
				<i>Siderastrea radians</i>	NT
			Astrocoenidae	<i>Stephanocoenia intersepta</i>	NT
			Poritidae	<i>Porites astreoides</i>	NT
				<i>Porites porites</i>	NT
			Oculinidae	<i>Oculina diffusa</i>	NT
			Faviidae	<i>Pseudodiploria clivosa</i>	NT
				<i>Pseudodiploria strigosa</i>	NT
				<i>Colpophyllia natans</i>	NT
				<i>Favia fragum</i>	NT
		Zoantharia	Sphenopidae	<i>Palythoa caribbeorum</i>	NT
	Octocorallia	Malacalcyonacea	Gorgoniidae	<i>Antilogorgia spp</i>	NT
	Hydrozoa	Anthoathecata	Milleporidae	<i>Millepora squarrosa</i>	NT
				<i>Millepora complanata</i>	NT
Echinodermata	Echinoidea	Cidaroida	Cidaridae	<i>Eucidaris tribuloides</i>	NT
		Camarodonta	Echinometridae	<i>Echinometra luenter</i>	NT
		Diadematoidea	Diadematidae	<i>Diadema antillarum</i>	LC
Mollusca	Bivalvia	Ostreida	Ostreidae	<i>Ostrea frons</i>	DD
			Pinnidae	<i>Atrina seminuda</i>	NT
	Gastropoda	Caenogastropoda incertae sedis	Cerithiidae	<i>Cerithium litteratum</i>	NT
Chordata	Asciacea	Phlebobranchia	Asciidae	<i>Phallusia nigra</i>	DD
Annelida	Polychaeta	Amphinomida	Amphinomidae	<i>Hermodice carunculata</i>	DD
Chordata	Teleostei	Ovalentaria incertae sedis	Pomacentridae	<i>Stegastes planifrons</i>	DD
				<i>Stegastes leucostictus</i>	DD
				<i>Abudefduf saxatilis</i>	DD
		Perciformes	Scorpaenidae	<i>Scorpaena plumieri</i>	DD
		Eupercaria incertae sedis	Haemulidae	<i>Haemulon aurolineatum</i>	DD

La baja visibilidad limitó el número de registros, tanto de invertebrados como de peces. Se resalta el coral escleratinio *Siderastrea siderea* como el que presenta la mayor abundancia, superado solamente por los corales de fuego. Igualmente, y tal como se mencionó en el informe del año 2024, los octocorales del género *Antillologorgia* spp se destacan por su abundancia, estando presentes no solo entre las colonias de corales pétreos, sino que forman un ambiente casi exclusivo ubicado entre las dos formaciones en terraza donde dominan los corales de fuego. Claramente, los corales de fuego dominan las partes altas de la terraza y se les observa por doquier. El erizo *Eucidaris tribuloides* fue nuevamente el equinodermo más abundante en la formación coralina de Puerto Velero.

5.2.2.2 Análisis moleculares

Barcoding de ADN de la biodiversidad recolectada

Se obtuvieron un total de 132 especímenes recolectados en las estaciones establecidas, distribuidos en 10 fila, en donde destacan Crustacea (31), Annelida (28) y Echinodermata (19) por presentar el mayor número de individuos. El resto de los grupos se evidencian en la Figura 5-13, en donde se muestran la proporción de muestras por phylum. La mayoría de estos especímenes se recolectaron asociados a los arrecifes de coral en el área de estudio.

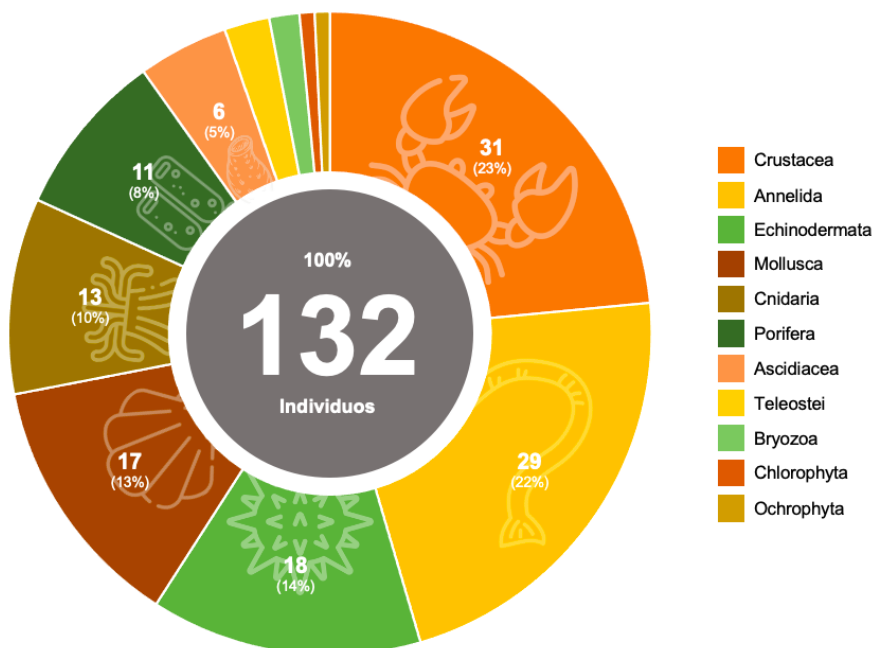


Figura 5-13. Número de especímenes por phylum registrados.

Cada una de las muestras se encuentra debidamente catalogada y preservada según los parámetros establecidos por el MHNMC – MAKURIWA. Además, cada espécimen fue fotografiado para registrar sus caracteres morfológicos como la coloración y tamaños (Figura 5-14).



Figura 5-14. Fotografías de ejemplares recolectados.

Luego de obtener los resultados de secuenciación, se compararon las secuencias obtenidas con las bases de datos teniendo en cuenta dos parámetros para la asignación taxonómica, el primero es el porcentaje de cobertura (%Cover), el que debía tener un valor superior al 80%, y el porcentaje de identidad (%Ind), en el cual se estableció que rangos de 99% a 100% correspondían a afinidades a la categoría de especie, rangos entre 90% a 98.99% a género y <89.99% se asignó a categorías superiores. La mayor parte de las asignaciones taxonómicas fueron asignadas a especie o género, dos a familias y dos a phylum. Además, la confirmación taxonómica tuvo en cuenta la distribución geográfica de los especímenes como variable determinante en su asignación, para ello, se tuvo en su registro en el Caribe colombiano y la verificación de la validez del nombre según WoRMS (World Register of Marine Species) (Tabla 5-4).

Tabla 5-4. Relación de las asignaciones taxonómicas obtenidas a partir de las secuencias genéticas con su número de catálogo y consecutivo en cada colección biológica depositada.

GRUPO TAXONÓMICO	ID DE CAMPO	IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA	NÚMERO DE CATÁLOGO	NÚMERO CONSECUTIVO
Briozoos	Bry01	Celleporidae	INV BRY3672	Consec. 93178
Briozoos	Bry1	Bryozoa	INV BRY3673	Consec. 93179
Cnidarios	PVM4-CNI5	Agalmidae	INV CNI4981	Consec. 93198
Cnidarios	PVM4-CNI1	<i>Carijoa riisei</i>	INV CNI4977	Consec. 93194
Cnidarios	PVA3-CNI2	<i>Porites panamensis</i>	INV CNI4973	Consec. 93190
Cnidarios	PVM4-CNI4	<i>Phyllangia</i> sp.	INV CNI4980	Consec. 93197
Cnidarios	PV-CNI3-5	<i>Oculina robusta</i>	INV CNI4976	Consec. 93193
Cnidarios	PUERTO-CNI4	<i>Porites panamensis</i>	INV CNI4975	Consec. 93192
Cnidarios	PV-CNI4-1	<i>Oculina robusta</i>	INV CNI4977	Consec. 93194
Esponjas	PV3-2POR	<i>Ircinia</i> sp.	INV POR2140	Consec. 93102
Esponjas	PV3-1POR	Porifera	INV POR2139	Consec. 93101
Moluscos	P1B1-MOL1	<i>Gemophos</i> sp.	INV MOL12945	Consec. 93090
Moluscos	P1B1-MOL3	Mollusca	INV MOL12947	Consec. 93092
Moluscos	PVB1-MOL2	<i>Echinolittorina interrupta</i>	INV MOL12946	Consec. 93091

El balance general del número de individuos recolectados, las extracciones de ADN positivas, las amplificaciones de ADN positivas y las secuencias de ADN obtenidas muestran que el Barcoding del ADN permitió la identificación taxonómica de especies que no pueden ser observadas por medio de censos visuales, por lo representa una herramienta complementaria para mejorar los inventarios de biodiversidad asociados a ecosistemas de arrecifes de coral como los de la

ensenada de Puerto Velero (Figura 5-15). En cuanto a las macroalgas, solos los grupos Ochrophyta y Chlorophyta no pudieron ser identificadas a partir del ADN, en gran medida debido a la poca información de referencia disponible para este grupo en bases de datos abiertas.

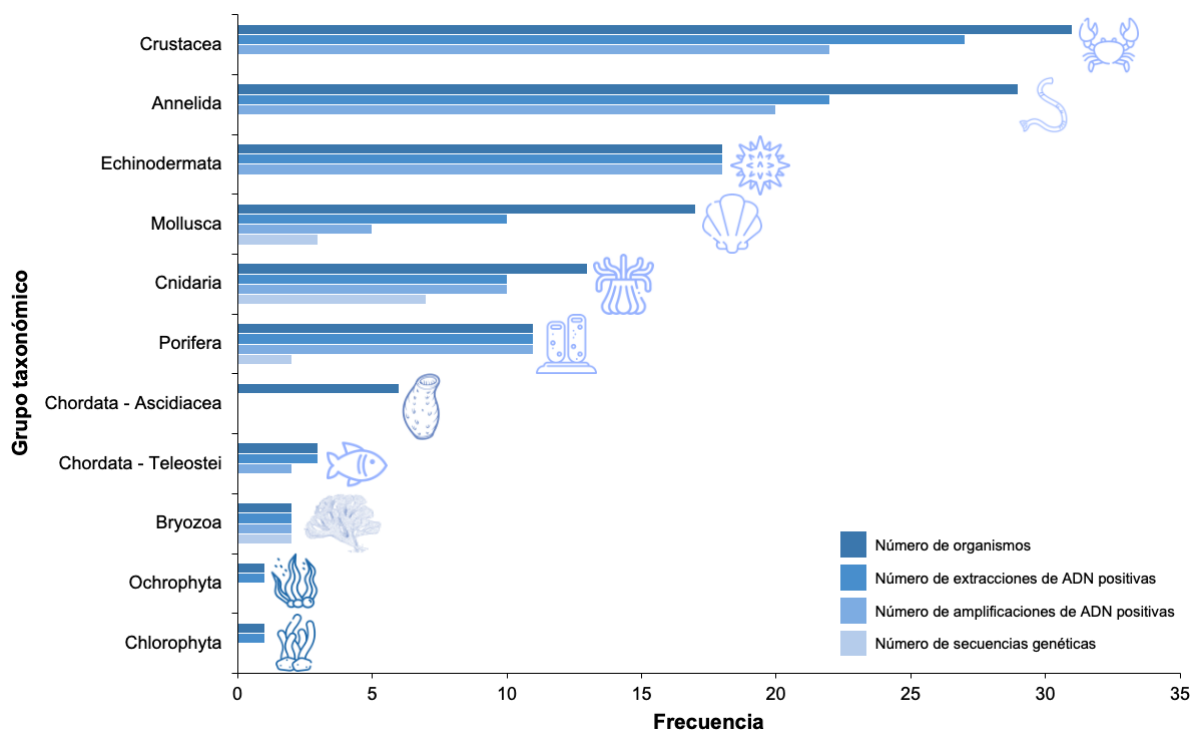


Figura 5-15. Balance general del número de organismos recolectados, extracciones de ADN positivas, amplificaciones de ADN positivas y secuencias genéticas por cada grupo taxonómico.

Las secuencias obtenidas se encuentran en proceso de ser cargadas a la base de datos de BOLD Systems junto con toda la información asociada a cada uno de los registros, con la finalidad de fortalecer las secuencias de referencia para la zona de estudio.

Detección de biodiversidad pelágica a partir del ADN ambiental

Todas las muestras de ADN ambiental derivaron en secuencias de distintos tamaños y se obtuvieron 1.002.311 lecturas (excluyendo los controles de calidad), quienes tras los procesos de depuración se obtuvo un total de 924.005 secuencias, a partir de los cuales se realizó una matriz con los 778 MOTUs generados detectados con el cebador Euka02 (eucariotas en general), cabe resaltar que el 50% de las detecciones fueron asignadas a microalgas (phylum Chromista), el 30% a metazoos (9 phyla), y Plantae (5%), Haptophyta (5% y otros grupos de protozoos (Figura 5-16).

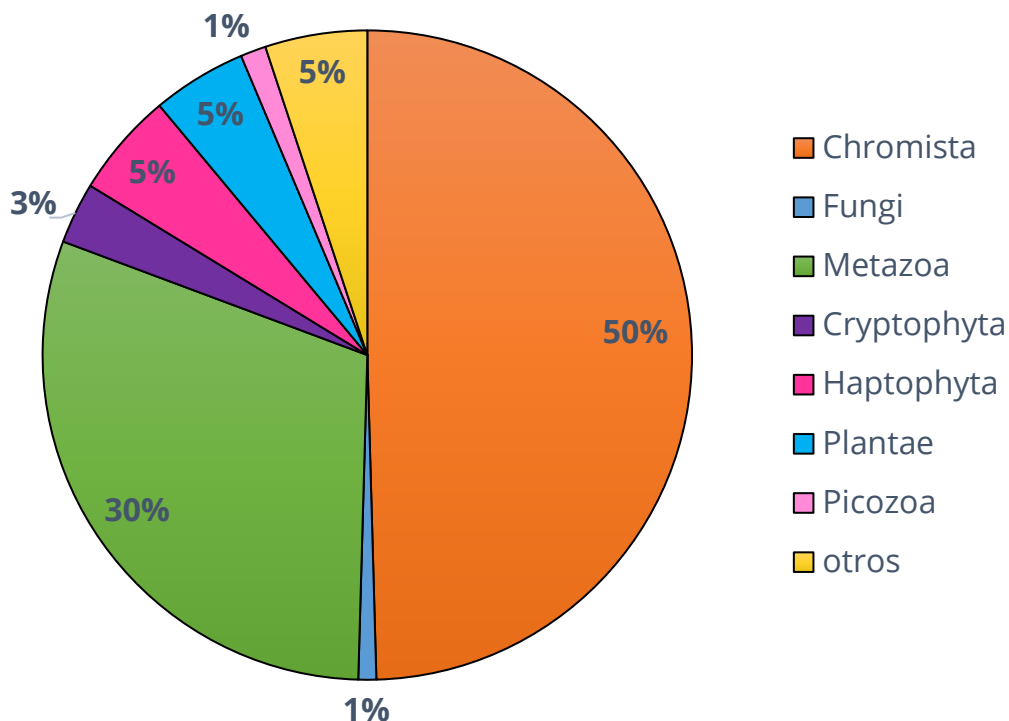


Figura 5-16. Distribución de phylum detectados con ADN ambiental en la ensenada de Puerto Velero

Las detecciones arrojaron 25 phyla y 56 familias, las asignaciones taxonómicas abarcaron diferentes niveles jerárquicos, incluyendo, familias, órdenes, clases y categorías superiores como tribu, parvorden e infraorden (Figura 5-17).

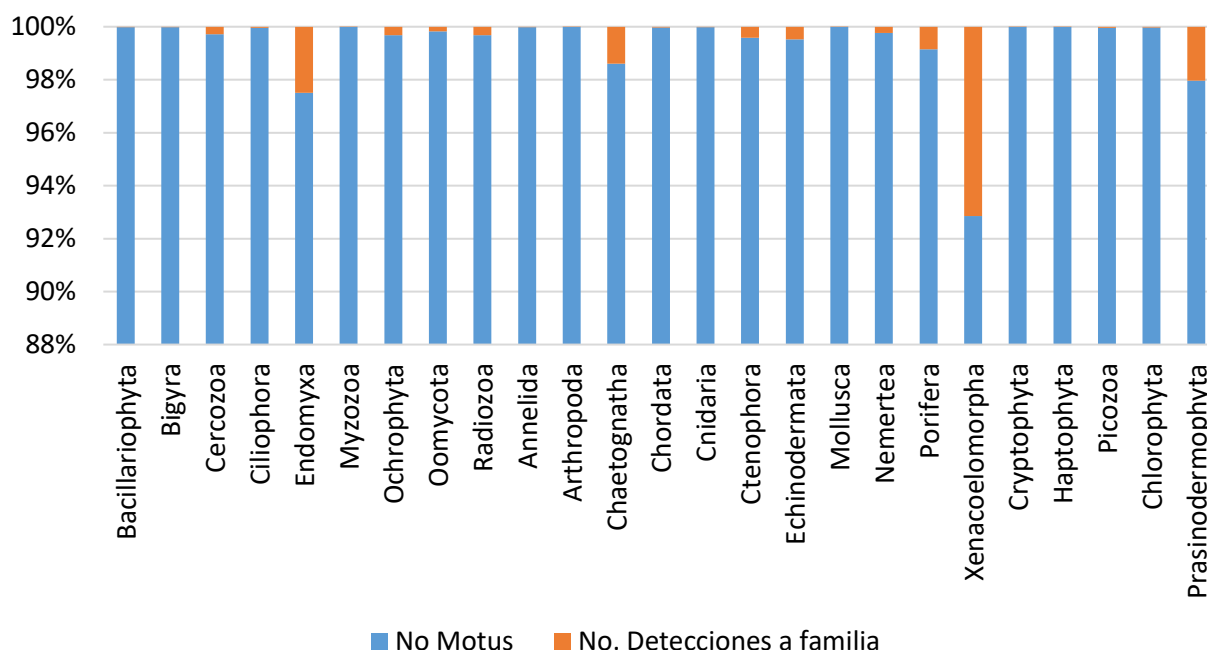


Figura 5-17. No de detecciones en las categorías de MOTUS y familias a través del ADN ambiental

La precisión en la identificación en la categoría de especie dependió de la resolución de las bases de datos de referencia para los genes 12S y del cebador empleado, dado que, al ser un gen universal, la resolución taxonómica se considera confiable en categorías superiores a familia. En áreas como la ensenada de Puerto Velero, donde no existen registros preliminares, la mayoría de los MOTUs fueron asignados a categorías superiores, alcanzando únicamente ocho en la categoría de género y ningún registro en la categoría de especie. Esto evidencia la necesidad de ampliar las bases de datos genéticas de referencia para el departamento del Atlántico, con el fin de mejorar la exactitud de los análisis de ADN ambiental y aprovechar su potencial para generar inventarios biológicos más completos.

En la Tabla 5-5 se relaciona el listado completo de eucariotas detectados en la ensenada de Puerto Velero, resaltando los phylum con mayor porcentaje aparición en el muestreo realizado en base al número de secuencias genéticas detectadas a través del ADN ambiental.

Tabla 5-5. Eucariotas detectados con eDNA en las cuatro estaciones muestreadas. En negrita los phyla con mayor número de MOTUS detectados.

Reino	Phylum	Clase	Orden
Chromista	Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales
Chromista	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae	Chaetocerotales
Chromista	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae	Coscinodiscales
Chromista	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae	Leptocylindrales
Chromista	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae	Melosirales
Chromista	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae	Rhizosoleniales
Chromista	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae	Thalassiosirales
Chromista	Bacillariophyta	Mediophyceae	Hemiaulales
Chromista	Bigyra	Bigyra	Bicosoecida
Chromista	Bigyra	Bigyra	Nanomonadea
Chromista	Bigyra	Bigyra	Oblongichytrida
Chromista	Bigyra	Bigyra	Thraustochytrida
Chromista	Cercozoa	Chlorarachniophyceae	Chlorarachniida
Chromista	Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida
Chromista	Cercozoa	Imbricatea	Thaumatomonadida
Chromista	Cercozoa	Thecofilosea	Cryomonadida
Chromista	Cercozoa	Thecofilosea	Ebriales
Chromista	Ciliophora	Heterotrichea	Heterotrichida
Chromista	Ciliophora	Litostomatea	Haptorida
Chromista	Ciliophora	Oligohymenophorea	Sessilida
Chromista	Ciliophora	Spirotrichea	Choreotrichida
Chromista	Ciliophora	Spirotrichea	Euplotida
Chromista	Ciliophora	Spirotrichea	Oligotrichida
Chromista	Ciliophora	Spirotrichea	Tintinnida
Chromista	Endomyxa	Ascetosporea	Haplosporida
Chromista	Myxozoa	Dinophyceae	Blastodinales
Chromista	Myxozoa	Dinophyceae	Coccidinales
Chromista	Myxozoa	Dinophyceae	Dinophysales
Chromista	Myxozoa	Dinophyceae	Gonyaulacales
Chromista	Myxozoa	Dinophyceae	Gymnodinales
Chromista	Myxozoa	Dinophyceae	Peridinales
Chromista	Myxozoa	Dinophyceae	Suessiales
Chromista	Myxozoa	Dinophyceae	Syndinales
Chromista	Myxozoa	Dinophyceae	Thoracosphaerales
Chromista	Ochrophyta	Bacillariophyceae	(vide)
Chromista	Ochrophyta	Chrysophyceae	Chromulinales

Reino	Phylum	Clase	Orden
Chromista	Ochrophyta	Dictyochophyceae	Dictyochales
Chromista	Ochrophyta	Dictyochophyceae	Florenciellales
Chromista	Ochrophyta	Dictyochophyceae	Rhizochromulinales
Chromista	Ochrophyta	Pinguiphyceae	Pinguiochrysidales
Chromista	Ochrophyta	Raphidophyceae	Chattonellales
Chromista	Oomycota	Hyphochytrea	Pirsoniales
Chromista	Oomycota	Hyphochytriomycetes	Hyphochytriales
Chromista	Radiozoa	Acantharea	Arthracanthida
Chromista	Radiozoa	Polycystinea	Nassellaria
Metazoa	Annelida	Polychaeta	Canalipalpata
Metazoa	Annelida	Polychaeta	Echiuroidea
Metazoa	Annelida	Polychaeta	Eunicida
Metazoa	Annelida	Polychaeta	Phyllodocida
Metazoa	Annelida	Polychaeta	Sabellida
Metazoa	Annelida	Polychaeta	Spionida
Metazoa	Annelida	Polychaeta	Terebellida
Metazoa	Arthropoda	Hexanauplia	Calanoida
Metazoa	Arthropoda	Hexanauplia	Cyclopoida
Metazoa	Arthropoda	Hexanauplia	Harpacticoida
Metazoa	Arthropoda	Hexanauplia	Poecilostomatoida
Metazoa	Chaetognatha	Sagittoidea	Aphragmophora
Metazoa	Chordata	Actinopteri	Clupeiformes
Metazoa	Chordata	Appendicularia	Copelata
Metazoa	Chordata	Ascidiacea	Phlebobranchia
Metazoa	Chordata	Ascidiacea	Stolidobranchia
Metazoa	Cnidaria	Anthozoa	Actiniaria
Metazoa	Cnidaria	Anthozoa	Scleractinia
Metazoa	Cnidaria	Hydrozoa	Leptothecata
Metazoa	Cnidaria	Hydrozoa	Narcomedusae
Metazoa	Cnidaria	Hydrozoa	Siphonophorae
Metazoa	Cnidaria	Scyphozoa	Coronatae
Metazoa	Ctenophora	Tentaculata	Lobata
Metazoa	Echinodermata	Echinoidea	Cidaroida
Metazoa	Echinodermata	Echinoidea	Spatangoida
Metazoa	Echinodermata	Ophiuroidea	Amphilepidida
Metazoa	Mollusca	Bivalvia	Arcoida
Metazoa	Mollusca	Bivalvia	Cardiida

Reino	Phylum	Clase	Orden
Metazoa	Mollusca	Bivalvia	Lucinida
Metazoa	Mollusca	Bivalvia	Myida
Metazoa	Mollusca	Bivalvia	Mytilida
Metazoa	Mollusca	Bivalvia	Ostreida
Metazoa	Mollusca	Bivalvia	Pectinida
Metazoa	Mollusca	Bivalvia	Pterioida
Metazoa	Mollusca	Bivalvia	Venerida
Metazoa	Mollusca	Gastropoda	Cephalaspidea
Metazoa	Mollusca	Gastropoda	Cycloneritida
Metazoa	Mollusca	Gastropoda	Ellobiida
Metazoa	Mollusca	Gastropoda	Littorinimorpha
Metazoa	Mollusca	Gastropoda	Pteropoda
Metazoa	Nemertea	Enopla	Monostilifera
Metazoa	Nemertea	Palaeonemertea	Archinemertea
Metazoa	Nemertea	Palaeonemertea	Tubulaniformes
Metazoa	Nemertea	Pilidiophora	Heteronemertea
Metazoa	Porifera	Demospongiae	Haplosclerida
Metazoa	Porifera	Demospongiae	Poecilosclerida
Metazoa	Xenacoelomorpha	Nemertodermatida	Nemertodermatida
NA	Cryptophyta	Cryptophyceae	Cryptomonadales
NA	Cryptophyta	Cryptophyceae	Cyathomonadacea
NA	Cryptophyta	Cryptophyceae	Kathablepharidacea
NA	Cryptophyta	Cryptophyceae	Pyrenomonadales
NA	Haptophyta	Prymnesiophyceae	Phaeocystales
NA	Haptophyta	Prymnesiophyceae	Prymnesiales
NA	Haptophyta	Prymnesiophyceae	Syracosphaerales
NA	NA	Centroplasthelida	Pterocystida
NA	NA	Choanoflagellata	Acanthoecida
NA	NA	Choanoflagellata	Craspedida
NA	NA	Telonemea	Telonemida
Plantae	Chlorophyta	Chloropicophyceae	Chloropicales
Plantae	Chlorophyta	Mamiellophyceae	Dolichomastigales
Plantae	Chlorophyta	Mamiellophyceae	Mamiellales
Plantae	Chlorophyta	Nephroselmidophyceae	Nephroselmidales
Plantae	Chlorophyta	Pyramimonadophyceae	Pyramimonadales
Plantae	Prasinodermophyta	Prasinodermophyceae	Prasinodermals

DISCUSIÓN

Cada grupo taxonómico presenta particularidades en cuanto a su material genético y retos para la obtención del mismo, como se pudo evidenciar con los especímenes recolectados. Especialmente los invertebrados, por sus características intrínsecas de poco tejido, su extracción ADN es usualmente más complejo. En el caso puntual de los moluscos, se obtuvo un menor éxito de extracciones positivas con respecto a la cantidad de organismos recolectados, lo cual, se puede atribuir a que este grupo presentan secreción de mucopolisacáridos y mucílagos que se adhieren al ADN evitando su separación, inhibición de enzimas durante el proceso de amplificación o presencia de proteínas polifenólicas ([Adema, 2021](#)). En algunas ocasiones también pudo deberse a la cantidad tejido disponible para realizar la extracción de ADN, ya que varios de los individuos recolectados eran juveniles con poco tejido ([Pereira et al., 2011](#)). También se puede atribuir a las asociaciones microbianas que presentan (Chen *et al.*, 2018) o por su propia naturaleza de filtradores, ya que en sus tejidos puede haber rastras o fragmentos de material de otros organismos ([Matos y Ávila, 2021](#)).

En cuanto a la amplificación de ADN se evidenciaron casos interesantes, como es el de los briozoos ya que de los dos ejemplares que se recolectaron se logró extraer ADN a pesar las limitaciones o retos que presenta este grupo, como lo es el bajo contenido de material blando, o la alta concentración de organismos asociados a sus estructuras calcáreas y la producción de metabolito secundarios y polifenoles que entorpecen los procesos de extracción y amplificación de ADN ([Waeschenbach et al., 2012](#); [Gómez et al., 2007](#)), sin embargo, la resolución taxonómica alcanzada logró clasificarse en la categoría de familia y de phylum, lo que indica una clara carencia de secuencias de referencia en las bases de datos de referencia, especialmente para este grupo. Otros dos casos similares son las esponjas marinas y los equinodermos, los cuales todos los individuos recolectados se les logró extraer y amplificar ADN, a pesar de sus retos como naturaleza filtradora de las esponjas o la composición de carbonato de calcio de los equinodermos. En el caso de las esponjas marinas se empleó el gen 28S para la obtención de secuencias genéticas ya que posee regiones altamente conservadas y dominios variables, lo que permite la resolución a nivel de especies, géneros y familias ([Wörheide et al., 2004](#)). En el caso de los equinodermos se obtuvieron amplicones positivos para el gen COI ya que es un gen que se caracteriza en equinodermos por presentar una variabilidad moderada, sin embargo, es ampliamente utilizado en la generación de códigos de barras, especialmente para los grupos Echinoidea, Asteroidea y Holothuroidea ([Ward et al., 2008](#)).

En cuanto a las asignaciones taxonómicas estas mostraron una carencia de secuencias de referencia en las bases de datos genéticas de referencia consultadas de estos grupos

taxonómicos lo que imposibilita tener una mayor resolución taxonómica. Esta situación ha sido documentada con anterioridad en la que se expone la falta de representatividad de los invertebrados marinos en las bases de datos genéticas de referencia, especialmente para especies tropicales ([Venera-Pontón *et al.*, 2020](#)) que no solo se reduce al Atlántico occidental tropical sino también a zonas tropicales al rededor del mundo ([Teixeira *et al.*, 2025](#); [Zhou *et al.*, 2025](#)). Esto crea la necesidad de implementar herramientas moleculares junto con métodos de identificación tradicionales para la caracterización de la biodiversidad y así fortalecer las bases de datos genéticas de referencia a nivel regional y global.

5.6. CONCLUSIONES

La caracterización de la biodiversidad marina mediante la implementación de herramientas moleculares permite dilucidar las limitaciones de métodos tradicionales, además permite evidenciar aspectos particulares y únicos de cada grupo taxonómico que conforma la comunidad biológica de la zona. Puerto Velero es el escenario idóneo para evidenciar lo diversa que es la comunidad biológica marina que en este reside y su caracterización genética permite evidenciar problemáticas que se traducen a lo largo del Caribe colombiano. Además, permiten revelar que la biodiversidad no solo se reduce a la cantidad de especies, sino a la misma diversidad genética que esta presenta.

6. 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.

Preparado por: *Joel David Pacheco Perea, Tania Liceth Córdoba Meza, Jady Vanessa Rodríguez Rangel, Lizbeth Janet Vivas-Aguas y Luisa Fernanda Espinosa Díaz.*

METODOLOGÍA

6.1.1. Zona de estudio

El área de estudio se localiza en el municipio de Tubará, departamento del Atlántico, Caribe Colombiano, específicamente en los sectores de Puerto Velero y Caño Dulce (Figura 6-1) que hacen parte del litoral costero del departamento del Atlántico ([Invemar, 2007](#)). La línea de costa del municipio de Tubará, ha experimentado modificaciones significativas en su morfología durante las últimas décadas, asociadas a procesos naturales y de intervenciones antrópicas. La playa de Puerto Velero tiene una longitud de 2,9 km lineales y superficie zonificada de 1.058.234 m², mientras que Caño Dulce cuenta con un frente de playa de 1,2 km lineales y un área zonificada de 2.451.054 m² ([Dimar, 2019](#)).

Puerto Velero y Caño Dulce se caracterizan por ser playas de arena oscura o parda, muy expuestas a los vientos estacionales y una marcada influencia en la dinámica sedimentaria, debido a la cercanía con la desembocadura del río Magdalena. En esta franja costera del Caribe convergen ecotonos, colinas y planicies fluvio-marinas y fluviales, lo que le confiere un alto potencial para el turismo y las actividades náuticas, especialmente en Puerto Velero. En contraste, Caño Dulce, mantiene condiciones más tranquilas, con presencia de esteros y vegetación litoral, que cumplen funciones ecológicas relevantes y favorecen la biodiversidad local. Ambos sectores cuentan con accesos vehiculares, áreas de descanso, servicios turísticos y senderos que facilitan la recreación, por lo que se han convertido en destinos habituales de turismo para la población de Barranquilla y municipios vecinos ([Osorio, 2011](#) en [Torres et al., 2014](#)).

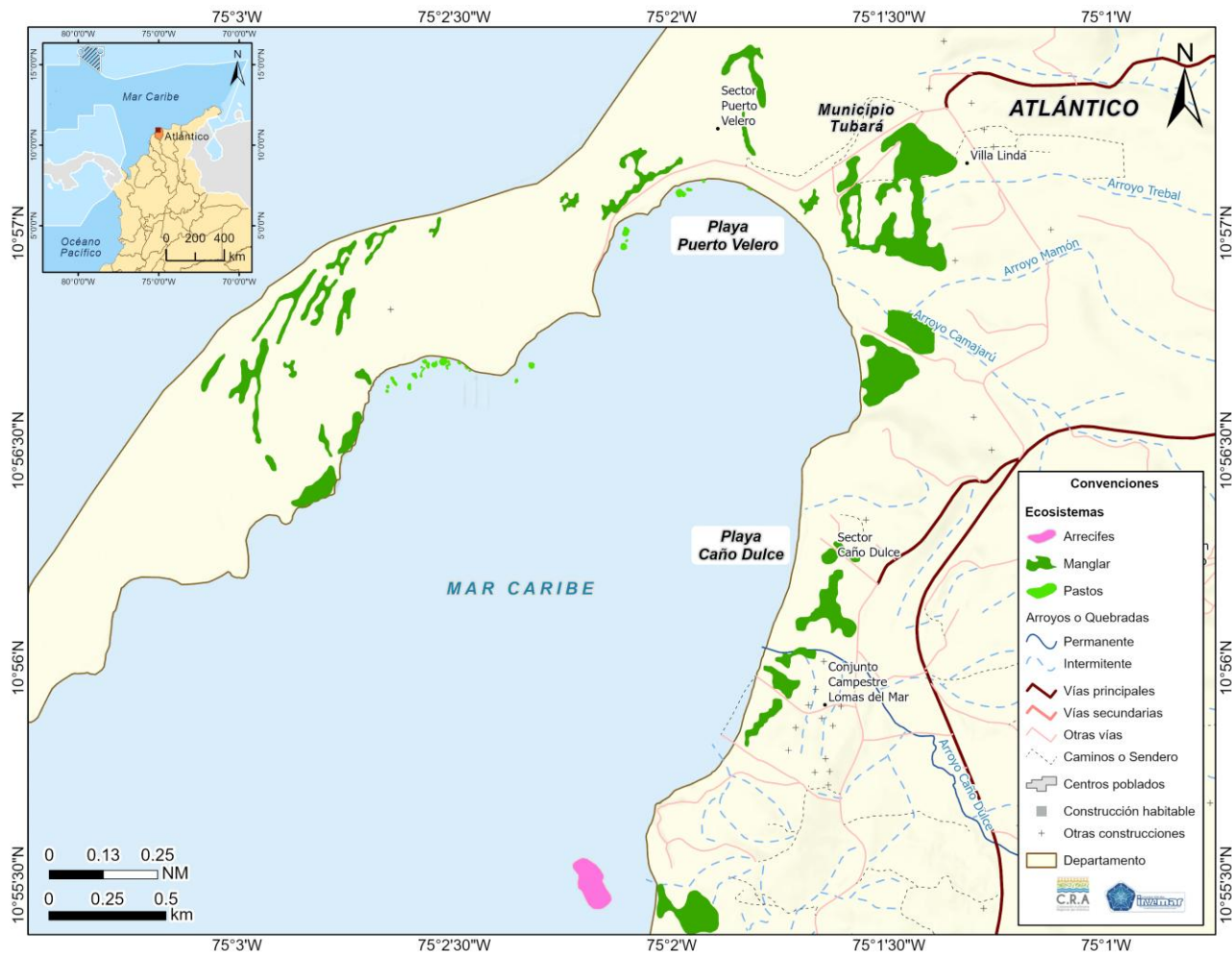


Figura 6-1 Área de estudio de la playa de Puerto Veleros y Caño Dulce, Tubará Atlántico.

Desde la perspectiva ambiental, varios estudios coinciden en que los sectores de Puerto Velero y Caño Dulce enfrentan presiones asociadas a la insuficiencia de servicio básicos, como acueducto, alcantarillado, sistemas adecuados para la disposición y clasificación de residuos sólidos. La ausencia de estrategias integrales de manejo ambiental constituye un factor de riesgo para la calidad ambiental de los ecosistemas ([Rangel et al, 2018](#)); de igual forma, se evidencian presiones típicas de zonas litorales con uso turístico, como procesos de erosión costera y acreción costera en sectores expuestos y acumulación de residuos maderables en áreas de mayor afluencia de visitantes.

Adicionalmente los servicios turísticos son prestados en su mayoría por habitantes del municipio y zonas aledañas, que operan bajo esquemas informales, con una limitada capacitación y apoyo institucional. Se estima que entre el 65 % y el 70 % de las actividades turísticas se concentran durante los fines de semana y periodos de mayor afluencia turística.

6.1.2. Identificación de factores de degradación

Para la identificación de los factores de degradación ambiental presentes en los sectores de Puerto Velero y Caño Dulce, se realizó una revisión de información secundaria proveniente de artículos científicos, informes técnicos y publicaciones institucionales en el periodo 2005 - 2025. Se utilizaron fuentes bibliográficas y repositorios especializados como Google Scholar, Scopus y ResearchGate, e institucionales como INVEMAR, DIMAR y la CRA.

Adicionalmente, durante la salida de campo realizada entre el 7 al 10 de octubre de 2025, con acompañamiento de personal de la CRA, se recopiló información relacionada con los factores de degradación ambiental presentes en las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, municipio de Tubará, Atlántico. A lo largo de los recorridos terrestres en la franja costera se identificaron tensores de origen antrópico y natural con potencial de generar afectaciones ambientales sobre los ecosistemas; estos fueron georreferenciados y documentados mediante registro fotográfico.



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

Por otra parte, se aplicaron encuestas orientadas a caracterizar la percepción de la comunidad local sobre las condiciones ambientales de las playas, la disponibilidad y calidad de los servicios de saneamiento, y las principales fuentes de contaminación identificadas en la zona de estudio.

6.1.3. Valoración de impactos potenciales

Para la evaluación de impactos se utilizó la metodología propuesta por [Conesa \(2009\)](#) con las modificaciones de [Toro et al. \(2013\)](#), la cual define la importancia del impacto en función del grado de incidencia o intensidad de la alteración generada sobre el medio. Esta metodología se caracteriza por incluir escalas descriptivas y numéricas para calificar, a juicio del evaluador, la

importancia de los impactos identificados. La valoración, se realizó con la ecuación 1, que integra seis atributos; intensidad, extensión, persistencia, reversibilidad, acumulación y recuperabilidad ([Conesa, 2009](#)).

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 (Ac): 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).

Cada atributo se evaluó aplicando escalas cualitativas, asignando un valor numérico que aumenta de acuerdo a la afectación sobre el ecosistema (Tabla 6-1). La importancia del impacto resultó del análisis integral que se fundamenta en el conocimiento de las condiciones ambientales específicas del área de influencia ([Viloria-Villegas et al., 2018](#)).

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 las playas de Puerto Velero y Caño Dulce se estructuró con tres ejes principales. El primer eje incorporó las presiones identificadas, el segundo incluyó los factores y componentes abióticos del ambiente natural (*recursos naturales, agua, suelo y aire*) y el tercero los impactos ambientales asociados a las presiones identificadas en cada playa (Tabla 6-2). Las filas de la matriz permitieron sinterizar de manera integral 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 Puerto Velero y Caño
Dulce modificado de [Conesa, 2009](#).

EJE 1	EJE 2		EJE 3
PRESIONES	FACTOR	COMPONENTE	IMPACTO ASOCIADO
Residuos sólidos	ABIÓTICO	Recursos Naturales	Afectación en la provisión de los servicios ecosistémicos
		Agua	Aumento de la materia orgánica
			Contaminación microbiológica
			Aumento de residuos sólidos flotantes y basura marina
			Turbidez
			Colmatación del cuerpo de agua
Quemas		Agua	Disminución en la penetración de la luz en la columna de agua
			Alteración de las condiciones naturales del cuerpo hídrico
		Suelo	Contaminación del suelo
			Presencia de microplásticos
			Pérdida de área natural de la playa
Cambios físicos en las capas del suelo			
Vertimientos y pozas sépticas		Aire	Presencia de olores ofensivos
			Aumento de partículas en el aire
			Liberación y acumulación de sustancias contaminantes
	Flora	Pérdida de la cobertura vegetal	
		Limitación del crecimiento y oxigenación de flora (Manglares)	
		Pérdida de hábitat	
Estructuras de protección costera artesanal	BIÓTICO	Fauna	Afectación a especies acuáticas
			Cambio en los hábitos alimenticios de especies marinas y terrestres
			Afectación a comunidades terrestres
			Lesiones causadas por interacción con basura marina
			Alteración del hábitat
	SOCIOECONÓMICO	Económico	Disminución de los ingresos en la Unidad Económica de Pesca (UEP)

EJE 1	EJE 2		EJE 3
PRESIONES	FACTOR	COMPONENTE	IMPACTO ASOCIADO
Tránsito de embarcaciones			Disminución del potencial turístico
			Disminución del consumo de los productos locales y aumento de la tasa de desempleo
		Cultural	Deterioro del paisaje
			Restricción del cuerpo de agua para fines recreativos
			Disminución del sentido de pertenencia por el territorio
		Salubridad	Afectación de la salud pública
			Proliferación de vectores de enfermedades

A partir del cruce de información entre las presiones identificadas y los componentes ambientales (*abiótico, biótico y socioeconómico*), se elaboró la matriz causa - efecto para determinar las interacciones existentes ([Anexo 9](#)). Después, las interacciones se calificaron 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	$IM \leq 20$

Finalmente se hizo la suma total de los valores de la importancia, lo que permitió jerarquizar los impactos con mayor grado de afectación, clasificados según el rango obtenido en la evaluación y considerando los criterios de importancia. A continuación, se describe cada categoría de impacto:

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.

6.1.4. Propuesta de medidas de prevención y protección ambiental

El 06 de noviembre se realizó un taller participativo con la comunidad del municipio de Tubará, con el objetivo de recopilar información sobre las condiciones ambientales de la zona de estudio. En la actividad participaron 18 habitantes del sector, entre ellos pescadores, prestadores de servicios turísticos y líderes ambientales locales.

El taller se dividió en cuatro momentos. En el **primero**, se socializó el alcance del convenio actual entre CRA-INVEMAR. En el **segundo**, se desarrolló un ejercicio de cartografía social orientado al reconocimiento del territorio, identificación de los ecosistemas presentes, las actividades antrópicas desarrolladas y las principales problemáticas ambientales que afectan la zona. En el **tercer momento**, se construyó una línea de tiempo entre 1977 y 2025, con el propósito de identificar los principales eventos, actividades socioeconómicas y cambios en la población que han influido en las condiciones ambientales actuales de la playa. En el **cuarto momento** se realizó la valoración de impactos asociados a las actividades y presiones identificadas, evaluando el nivel de afectación sobre los diferentes ecosistemas presentes y reconociendo las acciones que actualmente se están implementando para mejorar las condiciones ambientales del área (Figura 6-3)



Figura 6-3 Taller participativo con la comunidad de Tubará. A) Cartografía social. B) Línea de tiempo. C) Valoración de impactos y propuesta de medidas de prevención y protección ambiental. D) Foto oficial del taller realizado el pasado 06 de noviembre en Puerto Velero.

Se realizaron dos talleres con instituciones. El primero se desarrolló el día 4 de noviembre de manera virtual y contó con la participación de la Gobernación del Atlántico, la CRA, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-DAMCRA, DIMAR, Alcaldía de Tubará, EPA Barranquilla Verde y el INVEMAR. Al inicio del taller se realizó una contextualización general sobre la zona de estudio, abordando conceptos asociados a la contaminación ambiental, los requisitos de certificación de playas y se socializaron los resultados preliminares relacionados con los principales factores de presión identificados en la salida de campo. A partir de este contexto y del conocimiento técnicos de los participantes sobre el área de estudio, se aplicó, mediante la plataforma *Microsoft Forms*, un ejercicio de valoración participativa de impactos de las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, así como un primer sondeo sobre las principales acciones de protección y protección ambiental que las instituciones conocen o están liderando en el territorio (ver Figura 6-4).

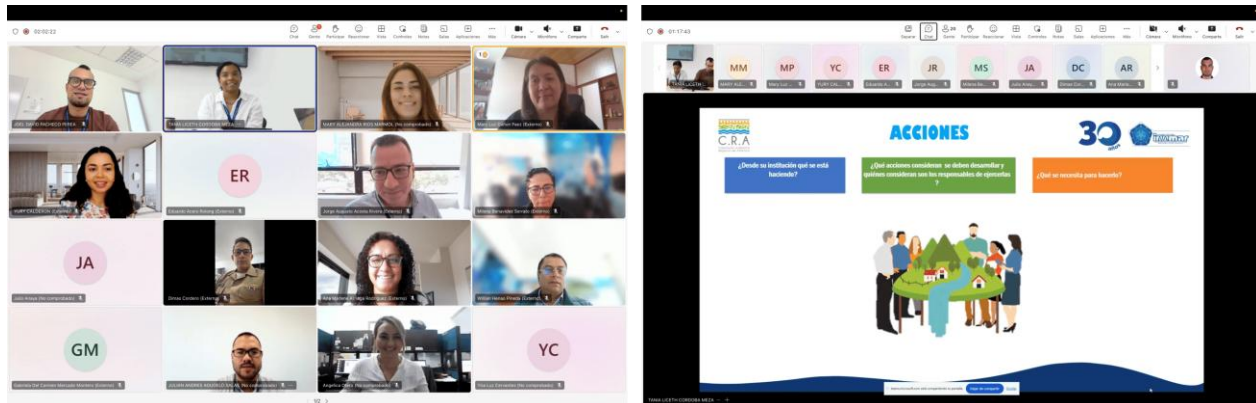


Figura 6-4. Taller virtual con Instituciones para identificar factores de degradación ambientales y proponer medidas de prevención en la Playa de Puerto Velero y Caño Dulce, desarrollado el 04 de noviembre del 2025.

El segundo taller con instituciones se llevó a cabo el día 4 de diciembre de manera presencial, se contó con la participación de la Gobernación del Atlántico, la CRA, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-DAMCRA, DIMAR, EPA Barranquilla Verde y el INVEMAR. Durante la jornada se realizó un recordatorio de la contextualización de la zona de estudio y las problemáticas ambientales identificadas. Posteriormente, se realizó una matriz DOFA de la zona de estudio, y la evaluación de las condiciones de la playa frente a los aspectos de sostenibilidad ambiental establecidos 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 Tabla 6-4. En este taller se evaluaron las presiones identificadas aplicando la Matriz de Vester o Matriz de Impactos Cruzados, con el fin de analizar las relaciones de causa y efecto entre estas y priorizar los problemas ambientales a intervenir. Finalmente, organizados en dos grupos de trabajo, se plantearon acciones para el territorio, enmarcadas en los catalizadores del Plan Nacional de Desarrollo, específicamente en el eje de transformación *Ordenamiento del territorio alrededor del agua y justicia ambiental*. Para cada acción se definieron los actores responsables y los requerimientos necesarios para su implementación (ver Figura 6-5)

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



Figura 6-5. Taller presencial con Instituciones para identificar factores de degradación ambientales y proponer medidas de prevención y protección ambiental en las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, desarrollado el 4 de diciembre de 2025 en la ciudad de Barranquilla, Atlántico

6.1.5. Sensibilización ambiental y alfabetización oceánica para la prevención y protección de los ecosistemas marino-costeros del departamento del Atlántico

Estrategia de Alfabetización Oceánica “Escuelas Azules”

Con el propósito de promover la alfabetización oceánica en el departamento del Atlántico y generar nuevas experiencias de aprendizaje orientadas a la prevención y protección del océano, se desarrollaron dos (2) fases de la estrategia *Escuelas Azules*: laboratorio del saber oceánico y semillero de cultura oceánica. Estas fases estuvieron enfocadas en fortalecer el intercambio de conocimientos y a la conexión de los participantes con el océano, involucrando instituciones educativas, organizaciones ambientales y comunidades locales. A través de procesos formativos y experiencias prácticas y lúdicas, las actividades permitieron enriquecer los procesos de aprendizaje, fortalecer capacidades y promover la cultura oceánica enfocada al cuidado y protección de los recursos marino-costeros (Figura 6-6).



Figura 6-6. Fases implementadas en 2025 en la Estrategia de Alfabetización oceánica bajo el convenio CRA 011-2025.

RESULTADOS

6.1.6. Identificación de factores de degradación

Las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, ubicadas en el municipio de Tubará, constituye un área de alta relevancia ambiental, social y económica para el departamento del Atlántico, debido a su vocación turística, el desarrollo de actividades recreativas y pesqueras, que la convierten en un motor de desarrollo local. Sin embargo, el aumento de la presión turística, la inadecuada gestión de los residuos sólidos y la deficiente disposición de aguas residuales han generado diversas problemáticas ambientales que comprometen la sostenibilidad de este ecosistema marino-costero. En la Figura 6-6 se presentan los factores de degradación y ecosistemas identificados en los recorridos por las playas de Puerto Velero y Caño dulce, los recopilados en las encuestas y aportados en el taller con la comunidad.

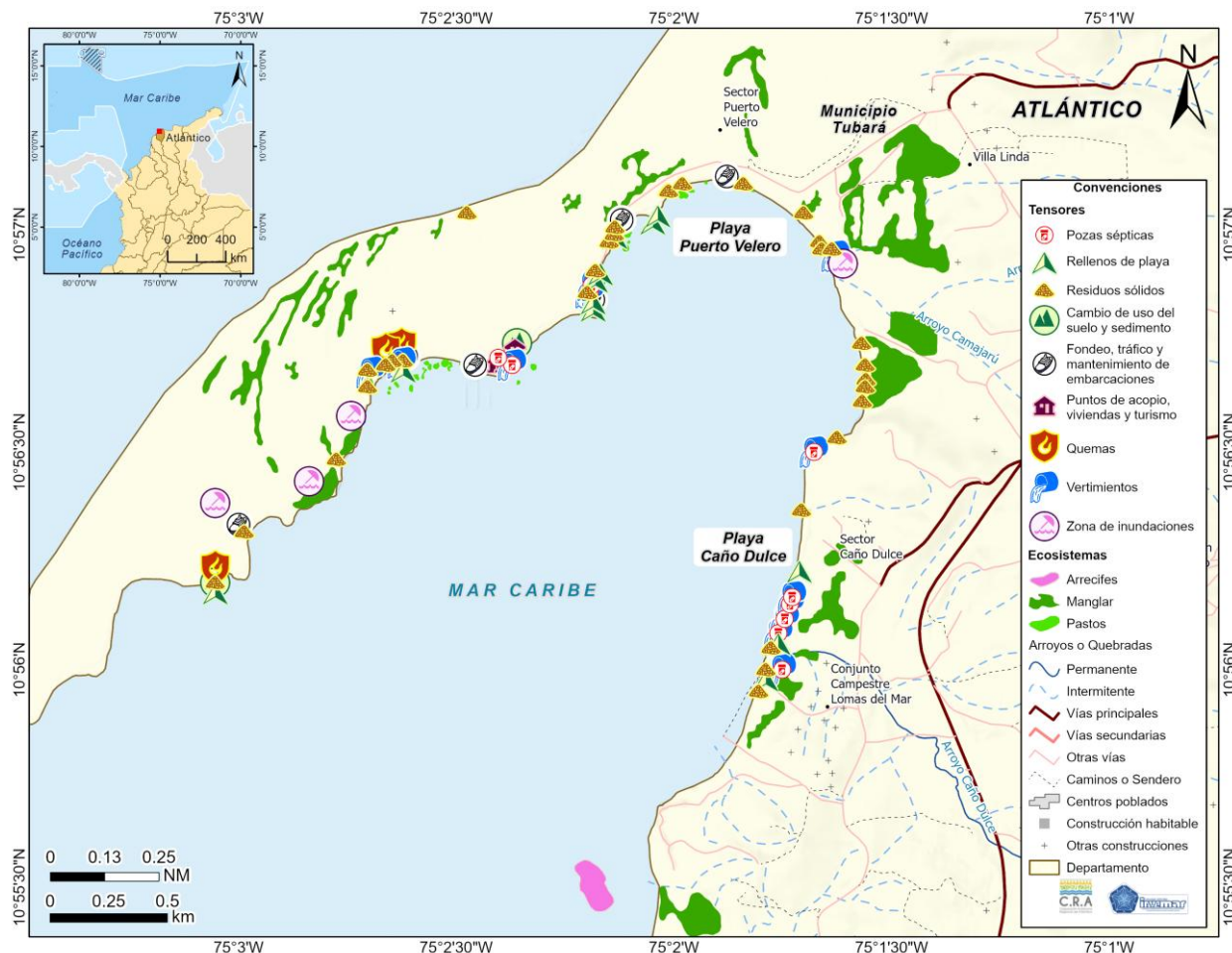


Figura 6-6. Factores de degradación ambiental y ecosistemas identificados en las playas de Puerto Velero y Caño Dulce en el municipio de Tubará, departamento del Atlántico.

Entre los principales factores de degradación identificados en campo se destacaron principalmente, la presencia de residuos sólidos, vertimientos y pozas sépticas; y estructuras de protección costera y artesanal, (Figura 6-6).

Residuos sólidos: Durante los recorridos de campo se identificaron focos de acumulación de residuos sólidos en zonas de manglar y playa a lo largo del área estudio, con mayor incidencia en el sector de Caño Dulce y en el sector de playa baja (zona de pescadores) de Puerto Velero. Los residuos más frecuentes fueron vidrio, latas, redes de pesca, madera y plásticos, siendo estos dos últimos los de mayor presencia.

En el sector de playa baja (zona de pescadores) de Puerto Velero no existe un sistema formal de recolección de residuos sólidos, lo que ha derivado en prácticas inadecuadas de disposición final, tales como la quema y el enterramiento de residuos, lo que ha favorecido su acumulación progresiva. En el ambiente submarino se registró la presencia de desechos plásticos y metálicos, los cuales pueden interferir con los procesos de fotosíntesis y representan un riesgo para la fauna marina, especialmente por la ingesta de microplásticos.

Aunque se observaron tramos de playa con baja presencia de residuos, los pobladores y comerciantes señalaron que durante la temporada de lluvias se incrementa la afectación en la zona costera, asociada al arrastre de residuos por escorrentía superficial y dinámicas marinas. Frente a esta problemática, algunos establecimientos y habitantes realizan de manera independiente jornadas de limpieza en zonas más cercanas a sus viviendas y locales comerciales (Figura 6-7). Así mismo, se destaca la existencia de una iniciativa comunitaria orientada a la separación y aprovechamiento de residuos plásticos por parte de los pobladores del sector de playa baja.



Figura 6-7. Acumulación de residuos sólidos identificados en la playa de puerto velero.

Quemas: En el sector de Caño Dulce y en áreas adyacentes de la playa de Puerto Velero se identificaron varios puntos donde se practica la quema de residuos, principalmente en zonas frecuentadas por pescadores. De acuerdo con la información recopilada en el trabajo de campo, estas quemas se asocian principalmente a dos situaciones: i) el uso de madera flotante para la cocción de alimentos al finalizar las faenas de pesca; y ii) la incineración de residuos sólidos generados en el área.

La quema de residuos sólidos se presenta como una práctica recurrente debido a la ausencia de un servicio formal de aseo y recolección de residuos en la zona, lo que limita las alternativas de una disposición adecuada y favorece el manejo inadecuado de residuos (Figura 6-8). Esta actividad genera emisiones atmosféricas y contaminación local, con posibles efectos adversos sobre la salud humana y el ambiente, particularmente en zonas de alta permanencia de población y visitantes.



Figura 6-8. Quemas identificadas en las playas de puerto velero y caño dulce.

Vertimientos y pozas sépticas: La ausencia de un sistema de alcantarillado sanitario en los sectores de Puerto Velero y Caño Dulce ha propiciado la instalación de pozas sépticas (Figura 6-9) con deficiencias técnicas. Las viviendas y establecimientos comerciales no cuentan con infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, lo que incrementa el riesgo de filtraciones de agua contaminada hacia la arena y el mar.

Durante los recorridos no fue posible verificar el estado actual, diseño o funcionamiento de dichas estructuras; sin embargo, con la información recopilada a través de encuestas, estas reciben mantenimiento aproximadamente una o dos veces al año.



Figura 6-9. Pozas sépticas identificadas en restaurantes y marina de puerto velero.

Adicionalmente, se identificó la presencia de varias tuberías de descarga ubicadas en la marina de Puerto Velero y en algunos establecimientos comerciales del sector de Caño Dulce (Figura 6-10). Aunque al momento del recorrido no se evidenció flujo de agua, miembros de la comunidad manifestaron que los vertimientos se realizan en horas de la madrugada. Por otra parte, se observaron múltiples canales de drenaje de aguas lluvias y caños naturales que desembocan directamente en la playa, los cuales pueden actuar como vías de arrastre de contaminantes hacia el ambiente marino por escorrentías.



Figura 6-10. Tuberías de vertimientos identificadas en las playas de puerto velero y caño dulce.

Estructuras artesanales de protección costera: En los sectores evaluados se identificó la implementación de estructuras artesanales de protección costera, que consisten principalmente en sacos rellenos de arena y llantas, utilizadas por la comunidad como una medida empírica para mitigar los procesos de erosión costera que afectan la playa (Figura 6-11). Si bien estas estructuras cumplen una función temporal de contención, se evidenció el deterioro progresivo

de los costales, lo que favorece su fragmentación y la liberación de partículas de meso y microplásticos. Estos materiales generan impactos negativos sobre la playa, el cuerpo de agua y los ecosistemas marinos y costeros presentes, tales como pastos marinos y corales. Asimismo, el uso de llantas expuestas al ambiente marino incrementa el riesgo de liberación de residuos contaminantes, contribuyendo a la degradación ambiental y afectando la calidad del hábitat de los ecosistemas presentes



Figura 6-11. Estructuras de protección costera artesanal identificados en la playa de puerto velero.

Fondeo, tránsito y mantenimiento de embarcaciones: En los recorridos se observó un tránsito constante de embarcaciones recreativas y de pesca, asociado principalmente a actividades turísticas y productivas. Asimismo, se observaron algunas embarcaciones en labores de mantenimiento en la marina, las cuales, si bien se desarrollan de manera controlada, requieren seguimiento permanente para prevenir la generación y disposición inadecuada de residuos peligrosos, tales como aceites usados, combustibles y solventes.

Aunque no se observaron impactos ambientales directos, se identificaron riesgos potenciales relacionados a las prácticas de fondeo, las cuales pueden ocasionar afectaciones a los pastos marinos y corales debido al arrastre de anclas y cadenas. Adicionalmente, se observó la presencia de residuos sólidos y aguas estancadas en el interior de algunas embarcaciones, lo que representa un riesgo sanitario y ambiental (Figura 6-12).



Figura 6-12. Tránsito de embarcaciones identificados en la playa de puerto velero.

Identificación participativa de factores de degradación ambiental:

Como resultado del ejercicio de cartografía social realizado durante el taller participativo, los asistentes identificaron zonas críticas con problemáticas ambientales, basados en sus conocimientos y experiencias. Entre los factores más relevantes se destacaron la pérdida progresiva de la playa asociados a procesos de erosión costera, la acumulación de residuos sólidos y la ocurrencia de vertimientos provenientes de algunos restaurantes. Este espacio también permitió reconocer la presencia de ecosistemas estratégicos, tales como corales y pastos marinos, los cuales mencionaron los participantes, requieren ser evaluados para conocer su estado actual y orientar la formulación de acciones de conservación dirigidas tanto con la comunidad local y visitantes.

Durante la construcción de la línea de tiempo (Figura 6-13), elaborada a partir de información correspondiente a los últimos 70 años (1955–2025), los miembros de la comunidad señalaron que la actividad económica predominante en la zona ha sido históricamente la pesca. De acuerdo con los relatos, a mediados del siglo XX las actividades se concentraban principalmente en el sector rocoso de Puerto Velero, caracterizándose hacia el año 1985 por una alta disponibilidad de recursos pesqueros, una limitada presencia de establecimientos comerciales y un desarrollo turístico incipiente. Hacia 1995, las condiciones ambientales de la playa eran percibidas como favorables, con baja presencia de residuos sólidos y sedimentos. Durante este periodo, no existía una vía de acceso formal a la playa, ni infraestructura como el dique, y la zona carecía de servicios públicos básicos.

Línea de tiempo

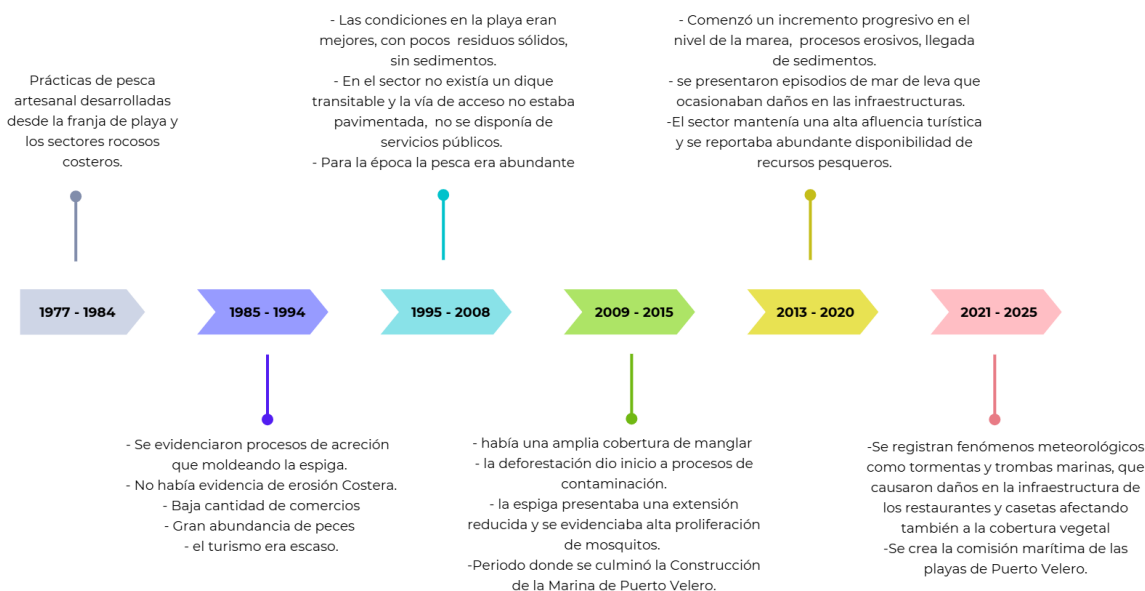


Figura 6-13. Línea de tiempo construida de forma participativa con actores clave en las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, durante el taller de identificación y evaluación de impactos ambientales potenciales realizado el día 4 de noviembre de 2025.

En el año 2009 se identificó que la espiga de Puerto Velero presentaba una extensión reducida, mientras que se mantenía una amplia cobertura de manglar, lo que evidencia condiciones ambientales relativamente conservadas en algunos sectores del área. No obstante, la comunidad indicó que los cambios más significativos comenzaron a manifestarse a partir de 2013, asociados a un incremento progresivo del nivel de la marea, el inicio de procesos de erosión costera y el aumento en el transporte y acumulación de residuos sólidos y sedimentos. Posteriormente, en 2015, con la finalización de la construcción de la Marina de Puerto Velero, la comunidad reportó una disminución en la abundancia de recursos pesqueros en comparación con años anteriores.

Finalmente, para el año 2018 se registraron eventos meteorológicos extremos, caracterizados por tormentas con ráfagas intensas de viento que ocasionaron la caída de árboles, postes y techos de establecimientos comerciales, así como precipitaciones intensas que contribuyeron al deterioro ambiental de la zona.

6.1.7. Valoración de impactos potenciales

Se identificaron un total de 102 efectos ambientales potenciales asociados a cinco factores de degradación ambientales (Anexo 6). De estos, el 9% fueron clasificados como impacto crítico, el 40% como impacto severo, el 50% impacto moderado y el 1% impacto leve. Las presiones que contribuyen a la generación de impactos críticos correspondieron principalmente a los residuos sólidos (6), los vertimientos y pozas sépticas (2) y las estructuras artesanales de protección costera (1), registrando valores de importancia entre (-77 y -88), los que representan los más críticos de afectación. Estos impactos se relacionan principalmente con la contaminación del suelo y del agua, el deterioro del paisaje por la presencia de residuos sólidos flotantes, la afectación en la provisión de los servicios ecosistémicos y la presencia de microplásticos, entre otros (Figura 6-14).

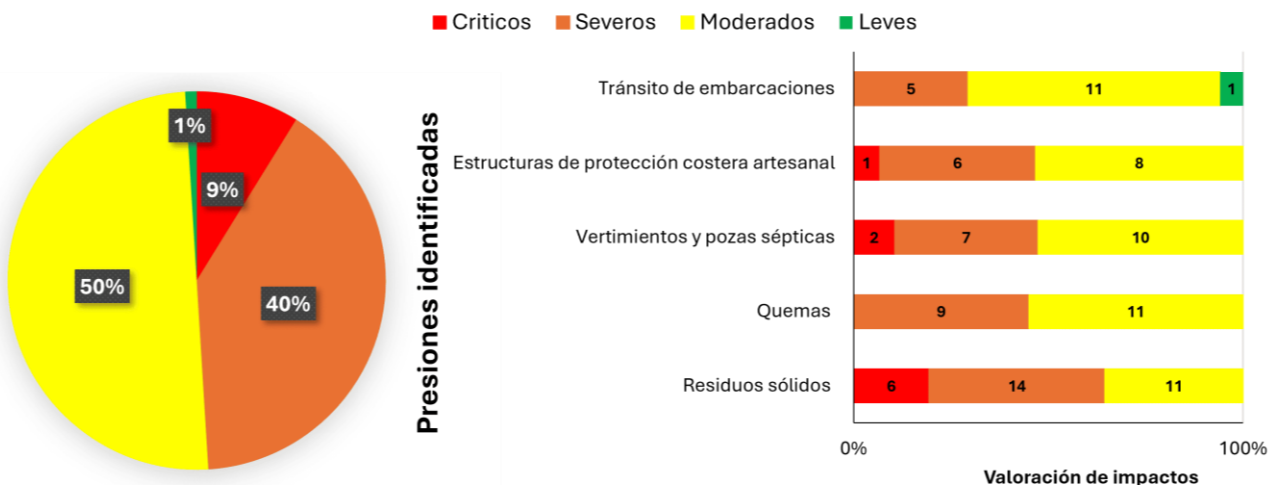


Figura 6-14. Resultados de la evaluación de impactos ambientales en la playa de Puerto Velero y Caño Dulce, Tubará Atlántico.

Los residuos sólidos constituyeron una presión presente a lo largo de toda la playa generando un total de 31 impactos ambientales, de los cuales seis (6) fueron clasificados como críticos, catorce (14) severos y once (11) moderados. Esta presión se asocia principalmente a la ausencia de un sistema formal de recolección de residuos sólidos, a los aportes de los caños y canales de aguas lluvias y a la falta de contenedores para la disposición adecuada de los residuos. La mayoría de impactos críticos se encuentran en el componente abiótico, debido a la contaminación generada por los residuos plásticos y madera flotante, lo que ocasiona pérdida de las condiciones naturales de la playa.

En relación con los vertimientos y el uso de pozas sépticas, se identificaron un total de (19) impactos ambientales, de los cuales dos (2) fueron clasificados como críticos, siete (7) como

severos y diez (10) como moderados. Estos impactos afectan principalmente el componente abiótico, en particular el suelo, a través de la contaminación del sedimento y la alteración de las propiedades fisicoquímicas de la arena de playa.

Por otra parte, las estructuras artesanales de protección costera generaron un total de quince (15) impactos ambientales, clasificados en uno (1) crítico, seis (6) severos y ocho (8) moderados. El componente más afectado corresponde nuevamente al abiótico, específicamente el recurso hídrico, debido a la presencia de residuos sólidos flotantes en la zona de playa.

Adicionalmente, mediante la aplicación de la matriz *Vester*, se contrastaron y ponderaron los factores de degradación identificados en la playade Puerto Velero y Caño Dulce, según su dependencia e influencia, lo que permitió establecer una clasificación de las problemáticas ambientales y orientar la priorización de acciones de manejo (Tabla 6-5; [Aramburú y Aliaga, 2016](#)). Se recomienda estudiar el factor social junto a otros elementos como la calidad ambiental marina de los sectores, ya que la convivencia entre locales, visitantes y turistas, como la gestión de residuos y las percepciones de identidad y propiedad tienen un impacto directo y relevante sobre el medio ambiente. ([Torres et al., 2014](#)).

Tabla 6-5. Factores de degradación ambiental identificados en la Playa de Puerto Velero y Caño Dulce 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	INFLUENCIA
P1	Residuos sólidos	0	3	2	3	2	10
P2	Quemas	2	0	0	1	1	4
P3	Vertimientos y pozas sépticas	2	1	0	1	2	6
P4	Estructuras de protección costera artesanal	3	2	2	0	2	9
P5	Tránsito de embarcaciones	1	1	1	0	0	3
DEPENDENCIA		8	7	5	5	7	32

De acuerdo con los resultados obtenidos, las variables Residuos sólidos (P1), Estructuras de protección costera artesanal (P4) y Vertimientos y pozas sépticas (P3) fueron identificadas como las más críticas del sistema analizado. Estas variables presentaron altos niveles de influencia, con valores de 10, 9 y 6, respectivamente, así como elevados grados de dependencia, con valores de 8, 7 y 5, respectivamente, lo que indica que ejercen una influencia significativa sobre los ecosistemas presentes y, a su vez, son altamente sensibles a la interacción con otros factores de degradación ambiental, lo que las convierte en elementos clave dentro de la dinámica de impacto ambiental. En este sentido, estas presiones antrópicas deben ser priorizadas en la

formulación e implementación de medidas de gestión ambiental orientadas a la prevención, mitigación y control de los impactos asociados (Figura 6-15).

Las variables de quemaduras (P2) y tránsito de embarcaciones (P5), fueron clasificadas como pasivas al presentar una baja influencia y alta dependencia frente a las demás variables del sistema. Esto indica que no actúan como factores detonantes de los problemas ambientales, sino que, en mayor medida, representan consecuencias derivadas de otras presiones antrópicas presentes en el área.

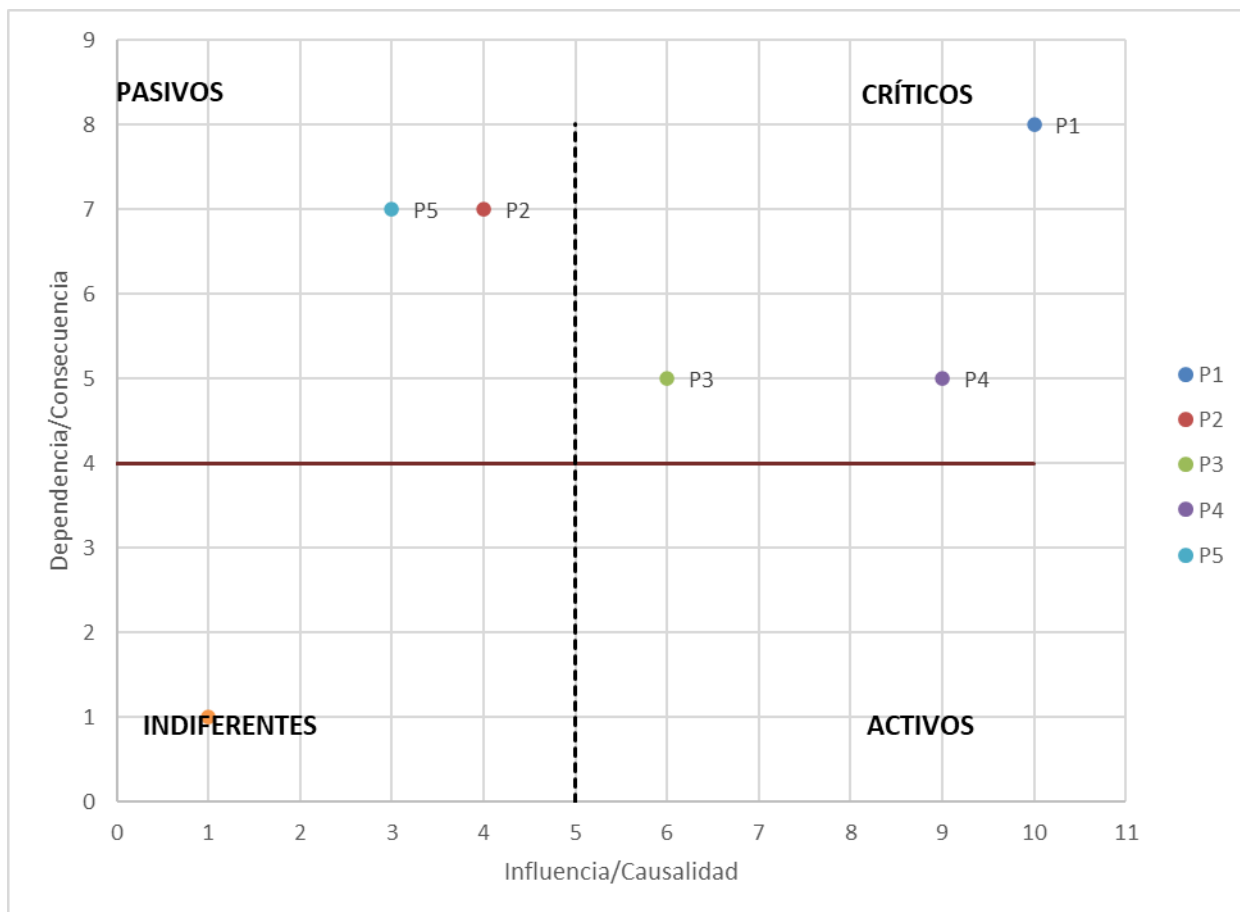


Figura 6-15. Resultados de la Matriz Vester de factores de degradación ambiental identificados en la playa de Puerto Velero y Caño Dulce: P1: residuos sólidos P2: quemaduras; P3: vertimientos y pozas sépticas; P4: estructuras de protección costera artesanal; P5: tránsito de embarcaciones.

6.1.8. Propuesta de medidas de prevención y protección ambiental

Las acciones orientadas a la prevención y protección ambiental fueron definidas a través de un proceso participativo que integró los aportes, experiencias y expectativas de la comunidad local

y de las instituciones presentes o que tienen interés en el territorio. En este contexto, la aplicación de los criterios de sostenibilidad del programa Bandera Azul ([FEE, 2023](#)) y de la Norma Técnica Sectorial Colombiana NTS-TS 001-2 ([ICONTEC, 2007](#)) permitió identificar que la mayoría de los aspectos evaluados en los componentes ambiental, sociocultural, económico y de seguridad presentan valoraciones predominantemente entre los niveles *malo* y *regular*.

Los resultados consolidados evidencian debilidades estructurales en la gestión integral de la playa, especialmente en los componentes ambiental, sociocultural, económico y de seguridad. Dentro del componente ambiental, los aspectos relacionados con el manejo de residuos sólidos y los drenajes o vertimientos fueron identificados como los más críticos, al concentrar un mayor número de valoraciones negativas, lo que refleja deficiencias en la gestión ambiental y potenciales riesgos para la calidad del ecosistema costero.

En el componente de seguridad, la señalización de playas y la disponibilidad de servicios de salvavidas y primeros auxilios presentan valoraciones mayoritariamente desfavorables, evidenciando la necesidad de fortalecer las condiciones de seguridad para los usuarios. En el ámbito sociocultural, la sensibilización e información al público, así como la organización de vendedores ambulantes, muestran percepciones predominantemente entre *malo* y *regular*, lo que sugiere una limitada apropiación de buenas prácticas y una débil organización social en el uso y planificación del espacio costero (Figura 6-16).

Por otra parte, los componentes económicos y de seguridad presentan valoraciones relativamente más favorables. Aspectos como la accesibilidad a la playa, la satisfacción del turista y la capacitación de los prestadores de servicios turísticos concentran una mayor proporción de percepciones en las *categorías bueno* y *muy bueno*, lo que indica avances parciales en estos ámbitos. Asimismo, la calidad del agua y el uso eficiente del recurso hídrico muestran valoraciones más equilibradas, aunque tiene oportunidades de mejora. En términos generales, se evidencia la necesidad de implementar acciones integrales, priorizadas y articuladas entre los diferentes actores, orientadas a fortalecer la gestión ambiental, mejorar las condiciones de seguridad y consolidar prácticas sostenibles que contribuyan al mejoramiento de las condiciones ambientales, sociales y operativas de las playas de Puerto Velero y Caño Dulce.

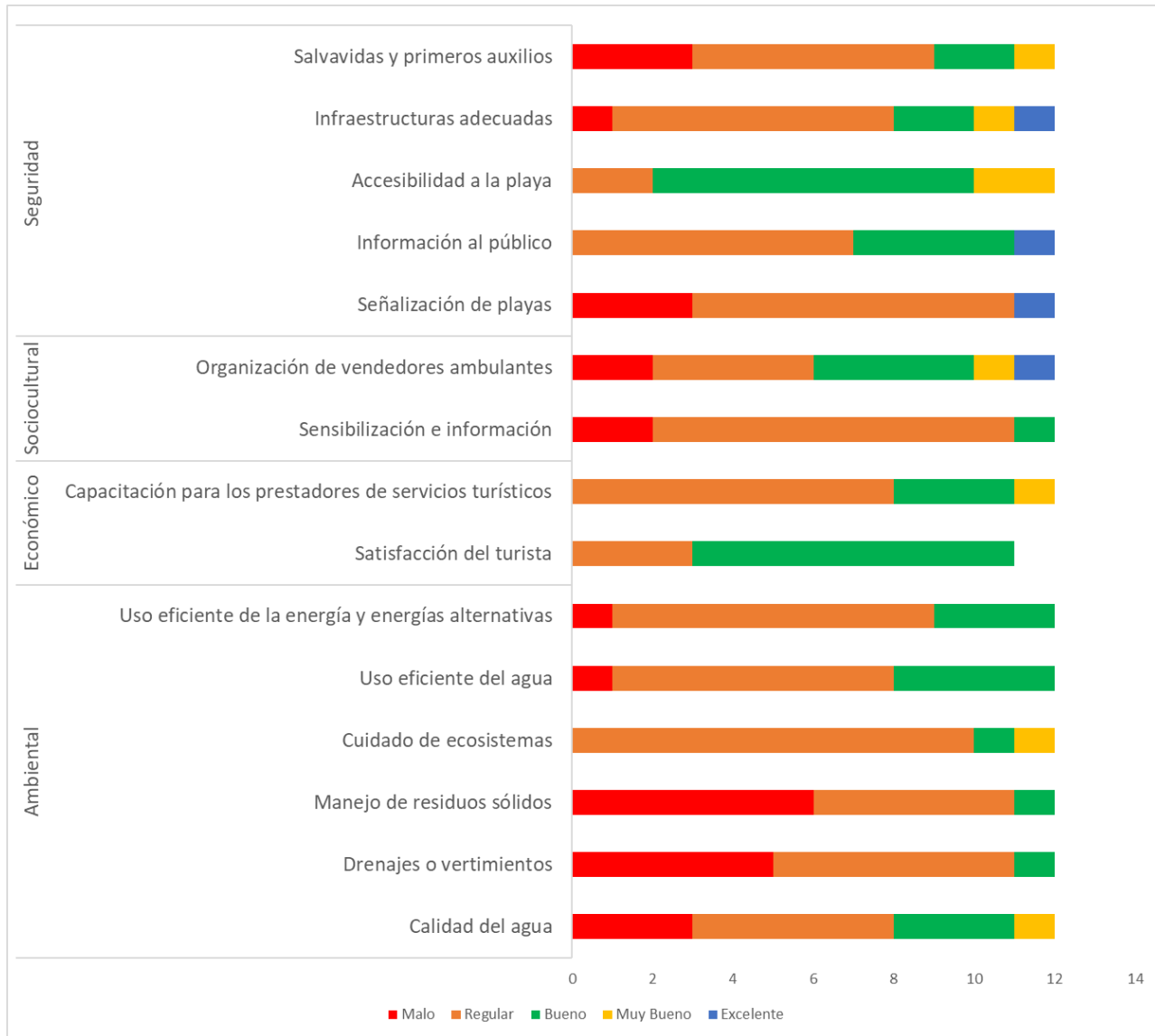


Figura 6-16. Resultados de la evaluación de los aspectos de sostenibilidad para la playa de Puerto Velero y Caño Dulce, Tubará, Atlántico, realizada en el segundo taller con instituciones realizado el 04 de diciembre en modalidad presencial.

De manera complementaria, se realizó una matriz DOFA para las playas de Puerto Velero y Caño dulce, que permitió evidenciar fortalezas significativas, tales como la disponibilidad de servicios cercanos, el interés de la ciudadanía en participar en procesos de mejora ambiental y certificación de *Bandera Azul*, la cual incentiva a trabajar en mejorar la calidad del agua, la gestión ambiental y los procesos de educación ambiental.

En cuanto a las oportunidades, se destaca el alto potencial que los ecosistemas de la zona ofrecen para el desarrollo del turismo sostenible y ecoturismo, lo que puede incrementar el

interés turístico a nivel nacional e internacional. Así mismo, los convenios establecidos con INVEMAR, universidades y entidades gubernamentales favorecen procesos de capacitación y cuidado del ambiente marino y costero bajo el enfoque de alfabetización oceánica. Adicionalmente, dado que la zona tiene potencial para la práctica de deportes náuticos, abre la posibilidad de impulsar iniciativas comunitarias hacia la creación de escuelas locales asociadas a estas actividades.

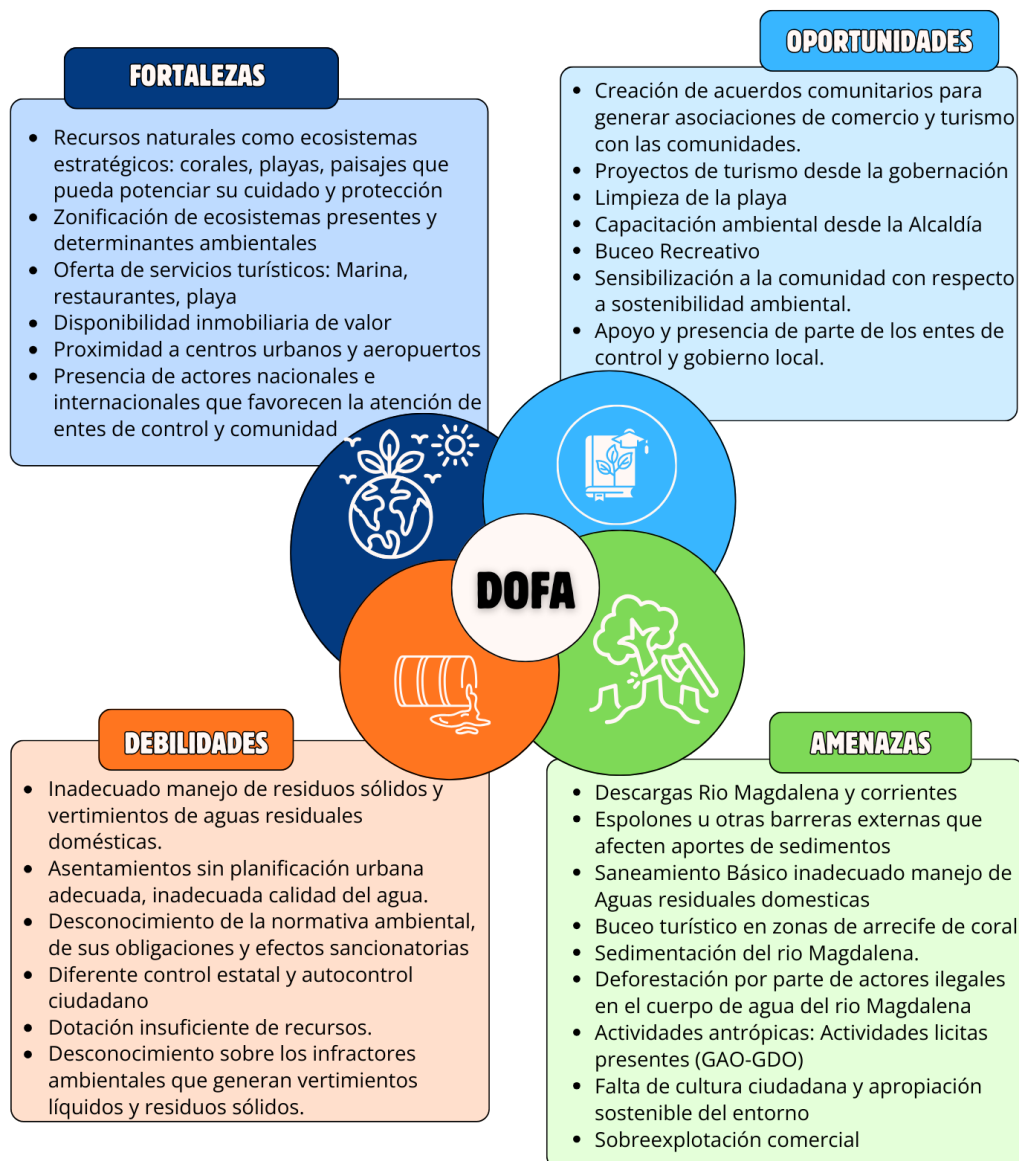


Figura 6-17. Matriz DOFA de las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, Tubará Atlántico, elaborada en el segundo taller con Instituciones que se llevó a cabo el día 04 de diciembre de 2025.

Por otra parte, se identificaron debilidades asociadas a la alta generación e inadecuada disposición de residuos sólidos, la falta de infraestructura la limitada articulación institucional y una baja cultura ambiental en la comunidad. Entre las amenazas más críticas se incluyen la contaminación generada por la actividad turística, los procesos de sedimentación asociados a las descargas del río Magdalena, la expansión urbana vinculada a restaurantes y hoteles, los efectos del cambio climático y la falta de continuidad y sostenibilidad de los proyectos implementados en la zona. Otras amenazas, debilidades, oportunidades y fortalezas se presentan en la Figura 6-17.

Los ejercicios realizados permitieron evidenciar que las acciones propuestas por la comunidad e instituciones para mejorar las condiciones ambientales de las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, se orientar principalmente al fortalecimiento de la gestión ambiental y el ordenamiento del territorio, mediante el incremento de los procesos de sensibilización y participación comunitaria, la mejora en el manejo de residuos sólidos y el control de actividades antrópicas. Asimismo, se priorizan acciones que permitan reconocer los focos críticos de contaminación y generar insumos técnicos que soporten procesos de prevención y toma de decisiones (ver Tabla 6-6).

Finalmente, se resalta la importancia de implementar procesos de zonificación ambiental con cartografía temática que faciliten la delimitación de áreas de alta sensibilidad ambiental, zonas de protección y usos permitidos, optimizando el manejo del espacio costero. De igual forma, la articulación interinstitucional y la elaboración de censos de concesiones y actividades socioeconómicas se identificaron como acciones que contribuyan al fortalecimiento de la gobernanza y al seguimiento de los usos del bien público marino-costero (ver Tabla 6-6).

Tabla 6-6. Catalizadores, acciones, actores y necesidades encaminadas a la protección ambiental de las playas Puerto Velero y Caño Dulce.

CATALIZADOR	ACCIONES	ACTORES RESPONSABLES	NECESIDADES
Catalizador 1. Justicia Ambiental y gobernanza inclusiva	Jornadas de sensibilización y apropiación del medio ambiente, por medio de brigadas ambientales y líderes comunitarios	Alcaldía, Gobernación, Autoridades Ambientales y sus distintos líderes.	Generar una mejor conexión con la comunidad y una apropiación más sólida de su territorio.

CATALIZADOR	ACCIONES	ACTORES RESPONSABLES	NECESIDADES
	Integrar grupos de voluntariado para la limpieza de playas	Alcaldía, Gobernación, operador del servicio de aseo, operador y administrador de la playa, comité de gestión de playa decreto 1766	Limpieza y gestión correcta de residuos sólidos en las playas
	Plan educativo comunitario C.R.A	Alcaldía, Gobernación, operador del servicio de aseo, Operador de playa, C.R.A, Dimar.	Definir y establecer estrategias comunitarias
	Estructurar e implementar puntos ecológicos	Secretaría de infraestructura, secretaria de desarrollo económico.	Taller participativo para el desarrollo del modelo, financiación, ejecución
Catalizador 2. EL Agua y las personas el centro del ordenamiento territorial	Inspección periódica de áreas de playa e identificar vertimientos ilegales de aguas residuales.	Alcaldía, Policía Ambiental, C.R.A	Sancionar a los infractores de vertimientos de aguas residuales y disposición inadecuada de residuos sólidos
	Señalización Marítima	Alcaldía, Gobernación, Dimar	Financiación, estudios de suelos
	Caracterización de sedimentos adyacentes a focos de vertimientos. Identificación y caracterización de los puntos de vertimiento y sus principales actores (Formales – Informales)	C.R.A, Barranquilla Verde, INVEMAR.	Laboratorios, equipos certificados, trazabilidad del muestreo

CATALIZADOR	ACCIONES	ACTORES RESPONSABLES	NECESIDADES
Catalizador 3. Coordinación de los instrumentos de planificación territoriales.	Implementar un proceso integral de formalización y regulación de las actividades socio-económicas de la zona de playa (Más Sostenibilidad – Más Control)	Alcaldía, Gobernación, Autoridades Ambientales, comunidad	Zonificación ambiental, Inventario de actividades y comunidades, equipo de control y seguimiento.
	Identificación de zonas y extensiones de bañistas	Dimar, secretaria de turismo de la Alcaldía de Tubará, comité de gestión de playa (operación)	Talleres, espacio para reuniones, cartografía
	Socialización con las comunidades las áreas y usos debidos de la playa.	Dimar, Agencia nacional de tierras, IGAC	Redes sociales, página oficial y acceso vínculo directo, DIMAR, IGAC
Catalizador 4. Capacidades de los gobiernos locales y las comunidades para la toma de decisiones de ordenamiento y planificación territorial.	Formación ambiental a las escuelas de kitesurf	Secretaria de turismo, Alcaldía, Dimar- oficina marina mercante, SENA	Talleres, espacios para capacitar, proponer proyecto al SENA
	Creación de 5 aulas de liderazgo ambiental dirigida a prestadores de servicios turísticos	Alcaldía, Gobernación, Autoridades ambientales, comunidad	Creación de mesas de trabajo construcción de formadores diseño de módulos de aprendizaje
Catalizador 5. Consolidación del catastro multipropósito y tránsito hacia el Sistema de Administración del Territorio (SAT)	Establecer zonificación de áreas de sensibilidad alta ambiental para definir las como zonas de protección ambiental (ejemplo Corales)	Autoridad ambiental del Atlántico, IGAC, Alcaldía, etc.	Cartografía Básica, mapeo de susceptibilidad levantamiento de datos en campo

CATALIZADOR	ACCIONES	ACTORES RESPONSABLES	NECESIDADES
	Cartografía y zonificación (Zona de reserva, expansión, Uso del suelo, etc.)	Alcaldía, Dimar, IGAC o equivalente	Visitas de campo, vuelos con Drones y cartografía actualizada
Catalizador 6. Tenencia de la tierra en las zonas rural, urbana y suburbana formalizada, adjudicada y regularizada	Interacción con el comité Interinstitucional para la protección de bienes de uso público marino costero del Atlántico.	Comité en mención, gobernación, Alcaldía, IGAC, Agencia nacional de tierras, Policía Nacional, Entidades de seguridad del Estado.	Documentos, un censo inventario actualizados, asesoría legal, espacios para interactuar
	Censo de concesiones, Inventario de actividades sociales, económicas, recreativas, ligadas a permisos renovables bajo obligaciones y seguimiento	Dimar, C.R.A, Comunidad, Alcaldía, Universidades, etc.	Solicitud de trámites y renovaciones, mesas de trabajo, logística y asesoría legal

Teniendo en cuenta la evaluación realizada, INVEMAR hace las siguientes recomendaciones orientadas a mitigar los impactos ambientales identificados en la zona de estudio y a fortalecer la gestión integral del área marino-costera:

1. Desarrollar jornadas periódicas de limpieza de playas con participación comunitaria, pescadores y comerciantes.
2. Establecer y señalar adecuadamente puntos de acopio temporal para residuos aprovechables y no aprovechables.
3. Implementar un sistema formal, periódico y eficiente de recolección de residuos sólidos en el sector de playa baja de Puerto Velero para evitar la quema de residuos sólidos.
4. Prohibir y ejercer control sobre la quema de residuos sólidos y la cocción de alimentos en la playa, mediante acciones de sensibilización y seguimiento por parte de las autoridades locales.
5. Establecer un programa de mantenimiento periódico de pozas sépticas, con registros verificables, acompañado de un diagnóstico técnico detallado del estado, capacidad y funcionamiento de las pozas sépticas existentes en viviendas y establecimientos comerciales.

6. Implementar un plan vigilancia y control de vertimientos líquidos por parte de la autoridad ambiental competente, especialmente en establecimientos comerciales (restaurantes) y la marina de Puerto Velero.
7. Sustituir las medidas artesanales por soluciones de manejo costero ambientalmente adecuadas, tales como estructuras blandas, restauración de dunas o soluciones basadas en la naturaleza.
8. Retirar progresivamente los sacos deteriorados y las llantas expuestas, priorizando aquellas estructuras que presentan mayor grado de fragmentación.
9. Implementar y señalizar zonas de fondeo autorizadas, con el fin de evitar la afectación directa de áreas sensibles, especialmente con presencia de corales y pastos marinos.
10. Implementar estrategias de educación ambiental, gestión del conocimiento y fortalecimiento de capacidades dirigidas a pobladores, pescadores y visitantes, que incluyan la gestión integral de residuos sólidos, gestión ambiental impactos ambientales, las alternativas sostenibles. y la normativa ambiental vigente.

6.1.9. Sensibilización ambiental y alfabetización oceánica para la prevención y protección de los ecosistemas marino-costeros del departamento del Atlántico

Estrategia Alfabetización Oceánica: “Escuelas Azules”

Durante la implementación de la Estrategia de Alfabetización Oceánica “Escuelas Azules, se desarrollaron cuatro (4) encuentros, un (1) laboratorio virtual de formación del saber oceánico y tres (3) semilleros de cultura oceánica presenciales, dos en instituciones educativas del Atlántico y uno con la comunidad de Puerto Velero.

La estrategia contó con la participación de un total de 575 personas en los diferentes espacios, de los cuales 13 correspondieron a docentes, 18 integrantes de la comunidad y 544 a estudiantes de primaria y secundaria (Figura 6-18). Las actividades estuvieron orientadas al fortalecimiento de la cultura oceánica y al aprendizaje de acciones relacionadas con la prevención, conservación y uso sostenible de los ecosistemas marinos y costeros, en el contexto de su territorio, promoviendo el reconocimiento del océano como componente fundamental para el bienestar humano y ambiental.



Figura 6-18. Número de participantes en las actividades de Alfabetización oceánica de la estrategia Escuelas Azules en el Departamento del Atlántico en el año 2025

Laboratorio de formación del saber oceánico:

La primera fase se desarrolló de manera virtual, mediante un espacio de transferencia de conocimiento y fortalecimiento de capacidades, bajo el enfoque de *Formador de Formadores*. Este enfoque busca que los docentes del Atlántico puedan transmitir de manera efectiva los 7 principios y 45 conceptos de la alfabetización oceánica, destacando especialmente el principio rector “la influencia que tenemos sobre el océano y la influencia que el océano tiene en nosotros”.

El laboratorio contó con un total de 14 participantes (8 docentes y 6 profesionales del área ambiental) de las Instituciones Educativas de los municipios de Barranquilla, Puerto Colombia y Sabanalarga. Las charlas fueron impartidas por personal del INVEMAR, Diana Isabel Gómez López, Jefe de la Línea de Investigación *Organización y Dinámica de Ecosistemas*, y los investigadores científicos Joel David Pacheco Perea y Jady Vanessa Rodríguez Rangel de la Línea de Investigación *Prevención y Protección de Ecosistemas Marinos y Costeros*, quienes a través de sus presentaciones reforzaron conceptos y los principios de la alfabetización oceánica, con

énfasis en la biodiversidad marina sobre ecosistemas de pastos marinos y arrecifes de coral, así como la articulación de estos contenidos con los proyectos ambientales escolares (PRAE).

El laboratorio se estructuró en cinco momentos, que se describen a continuación:

En el **primer momento** se realizó la presentación de los asistentes y se socializó el convenio 011-2025 entre INVEMAR y la CRA, la Estrategia Escuelas Azules y un breve contexto de sobre las actividades de la Alfabetización oceánica. En el **segundo momento**, se realizó un sondeo inicial para identificar la percepción y el nivel de conocimiento de los asistentes frente al océano. Los resultados evidenciaron que el 43% de los participantes consideran tener una conexión baja con el océano (Figura 6-19-A), el 86% manifestó saber poco del océano (Figura 6-19-B) y el 100% considera que el océano es importante para el planeta (Figura 6-19-C). Por otra parte, el 57% de los participantes consideran que tienen un nivel bajo de conocimiento sobre los ecosistemas de arrecifes coralinos y pastos marinos (Figura 6-19-D).



Figura 6-19. Resultados del sondeo inicial sobre la percepción y conocimiento sobre el océano aplicado a los participantes del *Laboratorio de Formación del saber oceánico* realizado el 25 de septiembre de 2025. A) Conexión con el Océano B) Nivel de conocimiento del Océano? C) Importancia del Océano para el planeta D) Conocimiento sobre los ecosistemas de arrecifes coralinos y pastos marinos.

El **tercer momento** correspondió a la charla sobre los principios de la alfabetización oceánica, cuyo objetivo fue comprender los principios esenciales y los conceptos fundamentales sobre el océano, así como fortalecer la capacidad de reflexionar, comunicar y tomar decisiones informadas y responsables con respecto al océano y sus recursos. Se socializó del *kit de herramientas sobre Alfabetización Oceánica*, documento en línea que contiene una recopilación de recursos educativos diseñados para facilitar los procesos de enseñanza y aprendizaje dirigidos a docentes y estudiantes (Figura 6-20).

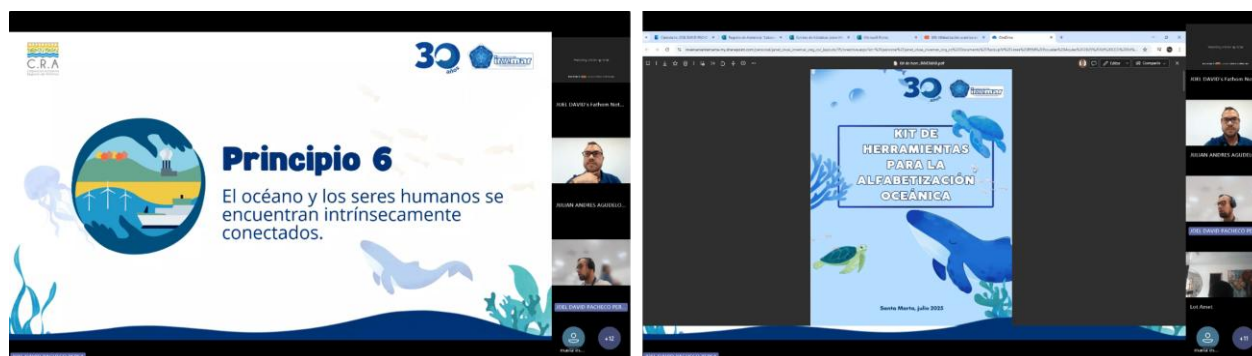


Figura 6-20. Socialización de los 7 principios y 45 conceptos de la Alfabetización Oceánica y socialización del Kit de herramientas durante el Laboratorio de Formación del saber oceánico realizado el 25 de septiembre de 2025.

En el **cuarto momento**, se profundizó en los principios 4 (El océano permite que la Tierra sea habitable) y 5 (El océano sustenta una gran diversidad de vida y de ecosistemas), abordando temas clave sobre los arrecifes de coral y los pastos marinos. Estos ecosistemas fueron presentados como ecosistemas esenciales para la biodiversidad marina y la protección costera, considerando su importancia ecológica, su distribución en el departamento del Atlántico y los principales agentes de deterioro, tales como el cambio climático, la contaminación y las actividades antrópicas. También se presentaron experiencias en procesos de restauración, acciones comunitarias y educativas, fundamentales para su recuperación y conservación a largo plazo (ver Figura 6-21).

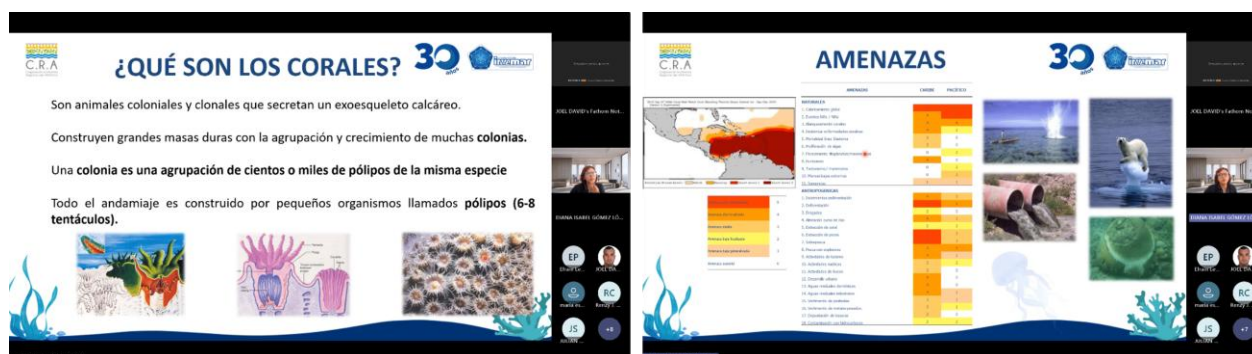


Figura 6-21. Charla sobre la importancia de los ecosistemas marinos para la biodiversidad en el departamento del Atlántico durante el Laboratorio de Formación del saber oceánico realizado el 25 de septiembre de 2025.

En el **quinto momento**, la sesión sobre Proyectos Ambientales Escolares, se promovió la participación activa de las Instituciones Educativas en iniciativas de educación ambiental con un enfoque en la alfabetización oceánica. A través de la presentación se plasmaron algunas ideas de actividades didácticas y reflexivas para vincular en los PRAE la conexión y comprensión de la relación entre el océano, la vida cotidiana y la educación.

Tabla 6-7. Ejemplo de actividades a vincular en los Proyectos Ambientales Escolares de las Instituciones Educativas del departamento del Atlántico.

ÁREA	Enfoque marino-costero	Ejemplo de actividad PRAE
	Matemáticas	Estadísticas de residuos, erosión costera, conteo de fauna
	Español	Lectura crítica, expresión escrita sobre el mar
	Ética/valores	Responsabilidad ambiental, ciudadanía oceánica
	Ciencias Naturales	Ecosistemas, biodiversidad, contaminación marina
	Educación artística	Sensibilización estética
	Tecnología	Innovación al servicio del ambiente

Semillero de cultura oceánica “El océano que necesitamos para el futuro que queremos”:

Para esta fase, se desarrollaron actividades en tres escenarios del departamento del Atlántico: Institución Educativa Francisco Javier Cisneros en Puerto Colombia, la Institución Educativa Marie Poussepin en Barranquilla y en la comunidad de Puerto Velero. En total, participaron 166 estudiantes de primaria, 374 estudiantes de secundaria y 13 integrantes de la comunidad de Puerto Velero.

Las actividades se realizaron de manera presencial los días 28, 29 y 30 de octubre del 2025. Cada jornada inició con una presentación introductoria sobre los objetivos del semillero y la logística del encuentro (ver Figura 6-22, Figura 6-23 , Figura 6-24). Y se dispusieron **4 stands temáticos**:

1. Stand de ***Alfabetización oceánica***, con una explicación general y la presentación de los 7 principios fundamentales,
2. Stand ***dinámico***, orientado a actividades lúdicas con algunos juegos de memoria oceánica y actividades experienciales.
3. Stand del ***Museo Makuriwa***, con la exhibición de diversas especies marinas y costeras
4. stand del ***observatorio*** equipado con el estereoscopio para la observación de muestras.

Para los dos **stands de Alfabetización oceánica**, inicialmente se realizó una charla general sobre el concepto de Alfabetización oceánica, promoviendo una participación activa de los asistentes mediante preguntas orientadoras como: ¿han escuchado o conocen el término? o ¿que se les ocurre cuando escuchan Alfabetización oceánica? Posteriormente se explicaron cada uno de los principios de forma breve, clara y dinámica, contextualizándolos según las características de su territorio, con el fin de facilitar su comprensión y fortalecer el vínculo de los participantes con el océano (Figura 6-22).



Figura 6-22. Stand de Alfabetización oceánica. A. IE Marie Poussepin, B. IE Francisco Javier Cisneros.

A continuación, se dio paso al stand dinámico, cuyo propósito fue complementar de una manera lúdica y participativa la información entregada previamente. En este espacio, se implementaron dos actividades:

1. **Juego de memoria oceánica:** los participantes debían destapar dos tarjetas asociadas a los principios de alfabetización oceánica. Si lograban destapar dos caras iguales, recibían un premio y se reforzaba colectivamente la explicación de ese principio.
2. **Juego tingo, tingo, tango:** se utilizó un animal marino de peluche que circulaba de mano en mano entre los participantes, y aquel que lo tuviera debía contar una experiencia relacionada con el océano, fortaleciendo la conexión emocional y el reconocimiento del océano como parte de su vida cotidiana (Figura 6-23).



Figura 6-23. Stand dinámico. A. Lúdica tingo, tingo, tango en la IE Marie Poussepin. B. Lúdica memoria oceánica en la IE Francisco Javier Cisneros. C y D. Lúdicas tingo, tingo, tango y memoria oceánica con la comunidad de P. Velero.

En el **stand del Museo Makuriwa**, se realizó una presentación inicial de diversas especies marino-costeras pertenecientes a la colección, promoviendo la participación activa de los asistentes, involucrándolos a partir de preguntas orientadas para estimular la curiosidad, diálogo y el reconocimiento de la biodiversidad local, tales como: ¿Qué creen que es? ¿A qué se les parece este organismo? ¿Creen que se encuentra en su territorio? Adicionalmente, se permitió a los participantes observar muestras pequeñas a través del estereoscopio, y se hizo una explicación de los equipos y muestras disponibles, permitiendo a los asistentes acercarse a la biodiversidad marina desde una perspectiva más detallada (Figura 6-24).



Figura 6-24. A y B. Stand museo Makuriwa en las instituciones educativas. C y D. Stand museo Makuriwa en la comunidad de Puerto Velero.

Finalmente, Como actividad de cierre, se desarrolló el ejercicio denominado “Pacto con el océano”, en un mural en el cual los participantes del semillero firmaron simbólicamente un compromiso con la protección del mar, a través de la huella de sus manos, escribiendo o dibujando mensajes alusivos al cuidado del océano (Figura 6-25).



Figura 6-25. Actividad de cierre: el pacto con el océano

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Los principales factores de presión ambiental identificados en las playas de Puerto Velero y Caño Dulce son: (i) la inadecuada gestión de residuos sólidos, (ii) los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento, y (iii) la implementación de estructuras artesanales de protección costera. Estas acciones generan impactos significativos sobre los componentes abióticos (suelo, agua, dinámica costera) y bióticos (flora y fauna asociada), lo que determina la necesidad de priorizar medidas de control y mitigación.

En la evaluación de impactos demostró que dichas presiones inciden de manera crítica en los procesos de degradación ambiental, principalmente a través de la contaminación del recurso hídrico y del suelo, así como la fragmentación y alteración de hábitats naturales. Estos efectos pueden comprometer la funcionalidad ecológica del ecosistema y su capacidad de resiliencia, afectando la sostenibilidad socioeconómica de la zona costera del Atlántico.

La estrategia de Alfabetización permitió fortalecer el intercambio de conocimientos y generar experiencias de aprendizaje contextualizadas y orientadas a la prevención y protección del océano, contribuyendo a la consolidación de la cultura oceánica en los participantes.

Recomendaciones:

Habiendo identificado los principales factores de presión ambiental, se recomienda establecer medidas de control y diseñar acciones orientadas a mitigar los impactos. Por otro lado, se recomienda dar continuidad y ampliar el alcance de la estrategia de alfabetización oceánica, con

el fin de fortalecer el impacto positivo en los ciudadanos; igualmente promover espacios de aprendizaje vivencial, ya que a partir de la práctica favorece una mayor apropiación de los contenidos, el fortalecimiento de vínculos con el entorno y el desarrollo de actitudes orientadas al cuidado y protección de los ecosistemas marino-costeros. Adicionalmente, se recomienda impulsar la formulación e implementación de Proyectos ambientales escolares (PRAE) relacionados con el océano y su protección, como una estrategia para integrar la Alfabetización Oceánica de manera transversal en los procesos educativos.

7. IDENTIFICAR ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (SbN) PARA LA MITIGACIÓN DE LA EROSIÓN COSTERA EN EL SECTOR ENTRE LA CIÉNAGA DE MANATÍES Y EL TAJAMAR DE BOCAS DE CENIZA.

Preparado por: *Johan Casadiego Estévez, Luisa Herrera Martínez, Sneider Barrera Santamaria, David Fernando Morales Giraldo, Constanza Ricaurte Villota.*

Las SbN son acciones para proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas naturales o modificados que hacen frente a los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad ([Cohen-Shacham et al., 2016](#)). En los ecosistemas costeros, la aplicación de SbN representa una estrategia clave para fortalecer la protección costera a partir de los servicios ecosistémicos que estos entornos proporcionan. Su implementación contribuye a la resiliencia de los socioecosistemas costeros, promoviendo principalmente la reducción del riesgo de desastres, la adaptación al cambio climático, la conservación de la biodiversidad y la seguridad alimentaria.

Para la identificación de SbN orientadas a la mitigación de la erosión costera entre la ciénaga de Manatíes y el tajamar de Bocas de Ceniza, se adoptó un enfoque integral que articuló el levantamiento de información primaria y análisis de la dinámica costera con estrategias participativas que vincularon a los actores comunitarios y técnicos en el co-diseño de alternativas de mitigación. Este proceso se desarrolló a través de las etapas de diagnóstico, participación, validación y priorización (Figura 7-1).



Figura 7-1. Ruta metodológica empleada para la priorización de alternativas SbN frente a la erosión costera entre la ciénaga de Manatés y el tajamar de Bocas de Ceniza.

METODOLOGÍA

7.1.1. Diagnóstico integral y línea base frente a la erosión costera

El diagnóstico integral se basó en una actualización de la caracterización física del área y en el análisis de criterios complementarios para identificar alternativas SbN. La caracterización física incluyó el levantamiento de perfiles de playa, el monitoreo de la línea de costa, vuelos con dron en áreas estratégicas y el análisis de muestras de sedimentos, con el fin de caracterizar la morfología costera. Como criterios adicionales, se analizó la evolución histórica de la costa, los impactos de la infraestructura costera y el desarrollo urbano. La información recopilada estableció el marco técnico para la priorización de alternativas.

7.1.1.1. Actualización de la caracterización física

La actualización de la caracterización física del litoral se realizó mediante la adquisición de datos en campo entre el 16 y el 19 de septiembre de 2025, análisis de imágenes (dron y satelitales) e información de convenios previos ([INVEMAR-CRA, 2024](#)), centrándose en los siguientes componentes: la dinámica de la línea de costa a escala local (2023-2025) y departamental (2014-2025), la morfología de los perfiles de playa y la caracterización sedimentológica.

Línea de costa

A nivel local, el levantamiento de la línea de costa entre Bocas de Ceniza y la Ciénaga de los Manatíes se realizó mediante un equipo GNSS (*Global Navigation Satellite System*) en modo diferencial, con una frecuencia de 1 Hz. La trayectoria se definió siguiendo indicadores morfológicos como cambios en la pendiente y la acumulación de material vegetal.

A nivel departamental, se aplicó una técnica semiautomática de extracción de línea de costa a partir de imágenes satelitales de los sensores Sentinel-2 y Landsat-8 ([Vos et al., 2019](#)), técnica que también se empleó para complementar el levantamiento con GNSS. Para el análisis local, se extrajo una línea de costa mensual entre 2024–2025, mientras que para el análisis departamental se obtuvieron líneas de costa en épocas climáticas contrastantes (lluvia y seca) entre 2014–2025. De esta manera, la escala local permitió capturar cambios de corto plazo, mientras que la escala departamental aportó una perspectiva de evolución de mediano plazo.

Los datos obtenidos en ambas escalas se procesaron con la extensión DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) de ArcGIS v.10.6 para calcular los estadísticos espaciales y temporales de cambios de la línea de costa ([Himmelstoss, 2021](#); [Thieler et al., 2009](#)), utilizando transectos separados cada 10 m para la escala local y de 50 m para el nivel departamental.

Vuelo dron

Para la adquisición de fotografías aéreas se empleó un dron DJI Phantom 4 Pro V2.0, equipado con un sensor RGB de 1" CMOS. Para la ejecución del vuelo se configuraron los siguientes parámetros: altura de vuelo entre 60 y 100 m, traslape longitudinal y lateral 65-70 %, y una resolución espacial media de 2,74 cm/píxel. Las imágenes de alta resolución se procesaron para la generación del ortomosaico y complementar la caracterización de la morfología costera.

Perfiles de playa

Entre Bocas de Ceniza y la Ciénaga de los Manatíes se adquirieron 10 perfiles de playa (Figura 7-2). Desde un punto de origen fijo en tierra, se realizaron mediciones topográficas perpendiculares a la línea de costa, extendiéndose hasta una profundidad máxima de 1,5 m, siguiendo la metodología de [Emery \(1961\)](#). A través del monitoreo de los perfiles de playa, se comprende la dinámica costera al analizar cómo los agentes hidrodinámicos (oleaje, viento, marea, corrientes) modifican la forma de la playa mediante la acumulación o erosión de sedimentos.

Muestreo y análisis de sedimentos

A lo largo de cinco perfiles de playa se recolectaron tres muestras de sedimentos por perfil (15 estaciones en total), cubriendo las zonas fisiográficas supramareal, mesomareal e inframareal. Los análisis de las muestras se realizaron en el laboratorio de Instrumentación Marina (LABIMA) del INVEMAR, siguiendo sus procedimientos internos. En cada muestra se caracterizaron los siguientes parámetros: granulometría (PR-LABIMA-2), calcimetría (PR-LABIMA-5), materia orgánica (PR-LABIMA-6) y mineralogía (PR-LABIMA-8).

La distribución del tamaño de grano se analizó con Gradistat v.8.0 ([Blott y Pye, 2001](#)). Para la clasificación textural de los sedimentos se aplicaron los parámetros estadísticos (tamaño de grano, selección, asimetría y curtosis) y la nomenclatura del método de [Folk R. L. \(1974\)](#).

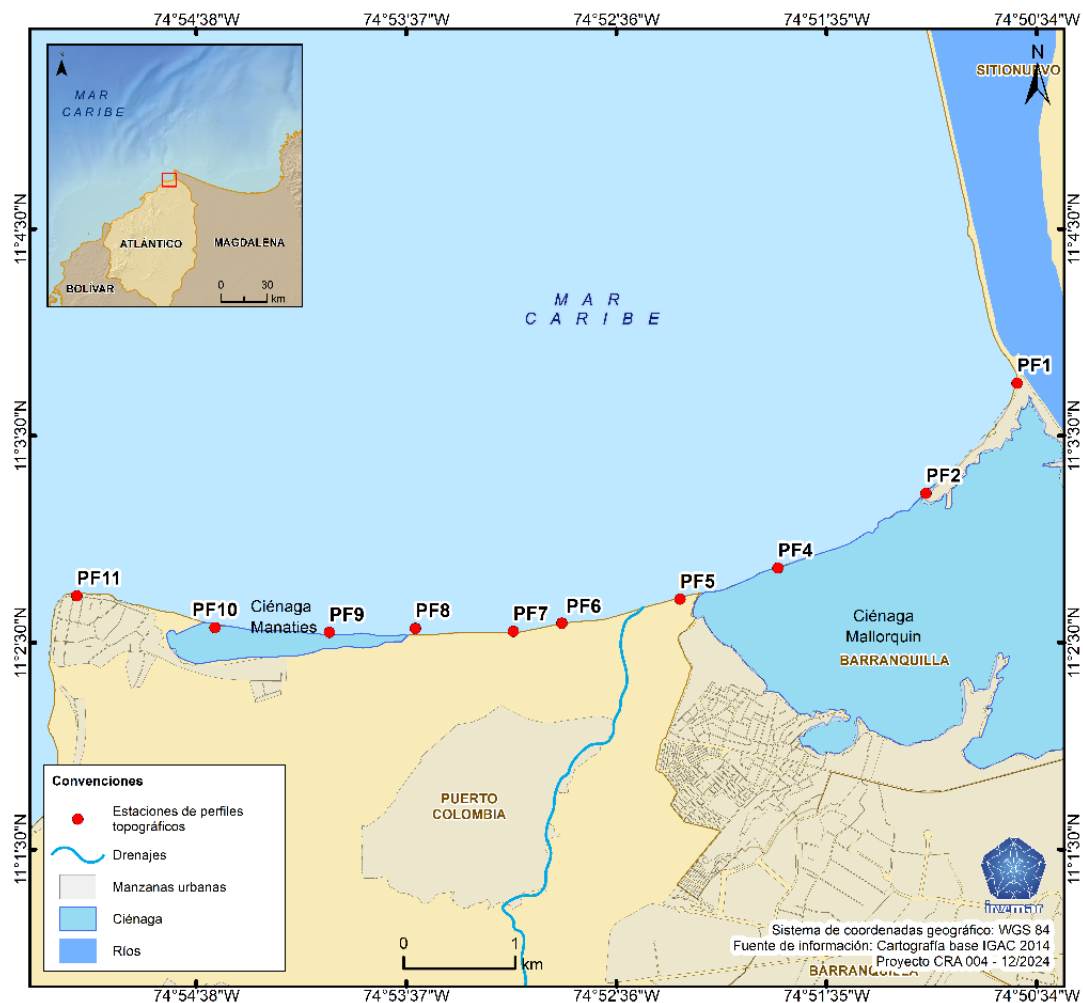


Figura 7-2. Mapa de ubicación de los perfiles topográficos en el área de estudio.

7.1.1.2. Análisis de otros criterios para la definición de las SbN

El análisis de criterios para la definición de alternativas SbN consistió en la revisión de información secundaria y en la aplicación de técnicas de teledetección de imágenes satelitales, con el fin de identificar criterios de evaluación, la evolución histórica de la línea de costa y evaluar su relación con las presiones antrópicas, particularmente las relacionadas con la infraestructura costera y el desarrollo urbano. Lo anterior permitió determinar su contribución a la problemática erosiva identificada en la caracterización física.

Posteriormente, se estableció el marco conceptual para la validación de los criterios de las alternativas, el cual incluyó la identificación de actores clave, entre ellos los vinculados a proyectos previos ([INVEMAR-CRA, 2024](#)). El marco resultante, integró los aspectos técnicos y evolución del sistema costero, y se emplearon como base para la formulación de los criterios SbN.

7.1.2. Validación de criterios de las alternativas como SbN de manera participativa

7.1.2.1. Talleres Participativos con Actores Clave

La validación de los criterios y priorización de alternativas de SbN para mitigar la erosión costera entre la Ciénaga de Manatíes y el Tajamar de Bocas de Ceniza se basó en un proceso participativo. Este se desarrolló mediante dos talleres con metodologías interactivas, diseñados para integrar el conocimiento local y el técnico. El primer taller estuvo dirigido a las comunidades, y el segundo, a instituciones y expertos técnicos.

Cada taller contempló cuatro etapas de desarrollo: planificación, ejecución, recopilación de información e identificación de medidas de gestión adaptativa (Figura 7-3). La etapa de planificación incluyó la definición del interés, identificación estratégica de participantes y logística. La fase de ejecución consistió en el desarrollo de una mesa de diálogo con actores comunitarios y un conversatorio con expertos para validar las iniciativas generadas con la revisión bibliográfica y adaptadas a las iniciativas expresadas por los actores comunitarios locales. La recopilación de la información se realizó principalmente mediante encuestas y espacios de diálogo. Por último, con la información obtenida se procedió a priorizar, de manera colaborativa, las alternativas de solución más viables frente a la erosión costera entre la ciénaga de Manatíes y el Tajamar de Bocas de Ceniza.



Figura 7-3. Metodología para desarrollo de los talleres participativos.

7.1.2.2. Criterios de Selección Mixtos (Técnicos y Comunitarios)

La priorización de las alternativas de mitigación frente a la erosión costera se llevó a cabo siguiendo el esquema de la Figura 7-4, mediante una metodología de integración de criterios técnicos, sustentada en información secundaria y en los lineamientos propuestos por [Castillo \(2024\)](#). De manera complementaria, se incorporaron criterios derivados de los espacios de participación técnica y comunitaria. A partir de ello, se construyó una matriz multicriterio que integró las variables y potenciales alternativas desarrolladas en el convenio [INVEMAR-CRA, 2024](#), generando un ranking de alternativas que refleja, la alineación con las prioridades locales.



Figura 7-4. Esquema para la toma de decisión a partir de análisis multicriterio. Adaptado de [Castillo \(2024\)](#).

RESULTADOS

7.1.3. Diagnóstico integral y línea base frente a la erosión costera

7.1.3.1. Actualización de la caracterización física

Análisis de cambios de línea de costa

Espiga litoral

La espiga litoral presentó una tendencia erosiva predominante, con una tasa media de $-40,6 \text{ m año}^{-1}$ (Figura 7-5). Sin embargo, se registraron valores contrastantes a lo largo de su extensión: en el sector suroeste se identificó una acreción de $97,31 \text{ m año}^{-1}$, asociada a la dinámica morfológica en la conexión con la barra litoral, donde se han desarrollado dunas costeras (Figura 7-8d). Por el contrario, en el sector central predominaron tasas de erosión, que oscilaron entre $-0,08$ y $-200,39 \text{ m año}^{-1}$. La variabilidad espacial es consistente con el carácter dinámico de esta geoforma.

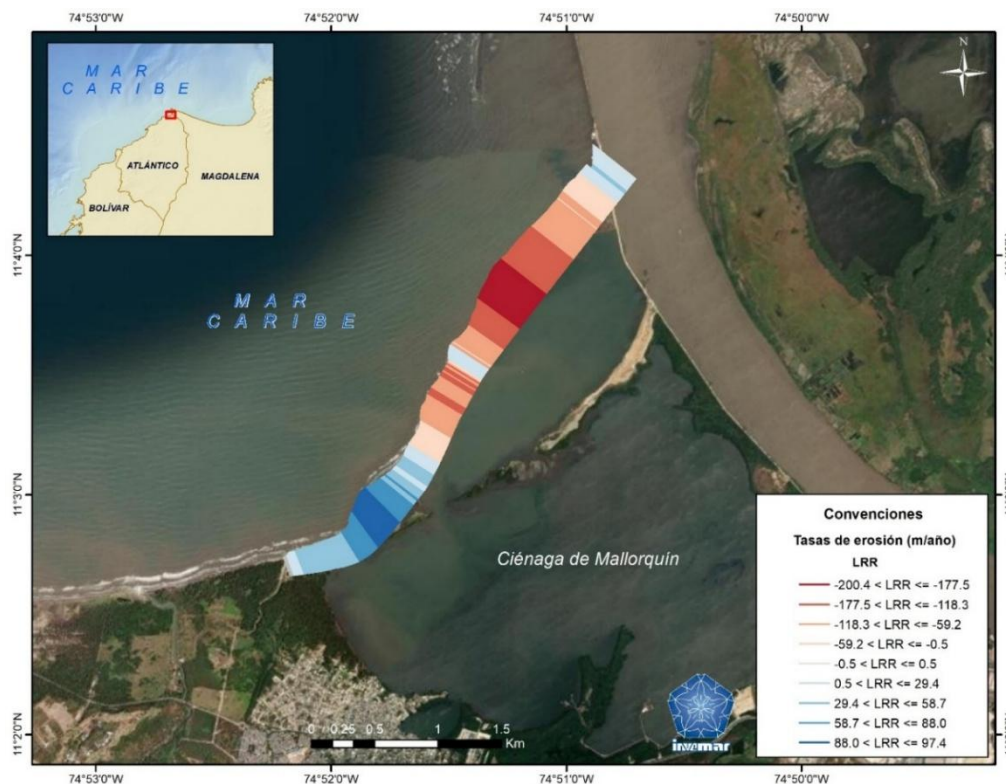


Figura 7-5. Tasa de regresión lineal de la espiga litoral en la ciénaga Mallorquín, entre 2023 y 2025. Fuente del mapa base: Esri World Imagery, 2025.

Barra litoral

Durante el período analizado, la barra litoral frente a la Ciénaga de Mallorquín mostró una tendencia neta hacia la acreción, con una tasa promedio de $6,75 \text{ m año}^{-1}$ (Figura 7-6). Esta dinámica general resulta del intercambio hídrico y sedimentológico a través de las conexiones internas del sistema.

Se identificó una marcada variabilidad espacial en los procesos de cambio costero. Los sectores con erosión presentaron tasas entre $-0,14$ y $-14,9 \text{ m año}^{-1}$, siendo máximas en el sector central, donde se observan escarpes erosivos activos. Por el contrario, los procesos de acreción predominaron hacia el noreste, con tasas entre $0,26$ y $12,72 \text{ m año}^{-1}$, alcanzando los valores más altos en dirección a la playa de Puerto Mocho, área que ha recibido rellenos artificiales (Figura 7-8a).



Figura 7-6. Tasa de regresión lineal de la barra litoral de la ciénaga Mallorquín, entre 2023 y 2025. Fuente del mapa base: Esri World Imagery, 2025.

Sector entre arroyo León y Punta Sabanilla

Para la línea de costa comprendida entre la Ciénaga de Mallorquín y Punta Sabanilla, se registraron valores de pérdida de litoral entre $-0,09 \text{ m año}^{-1}$ y $-24,16 \text{ m año}^{-1}$ los cuales se acentúan hacia la costa contigua a la desembocadura del arroyo León, donde se observan rasgos como escarpes erosivos (Figura 7-7). Estos valores disminuyen gradualmente en dirección hacia la Ciénaga de Manatíes. En contraste, en la playa de Punta Sabanilla se registraron procesos de acreción con tasas de hasta $15,84 \text{ m año}^{-1}$, indicativos de la dinámica del transporte de sedimentos sobre esta punta. Igualmente, hacia el este, en la conexión entre el litoral y espiga, se presentaron valores de acreción superiores a 20 m año^{-1} .

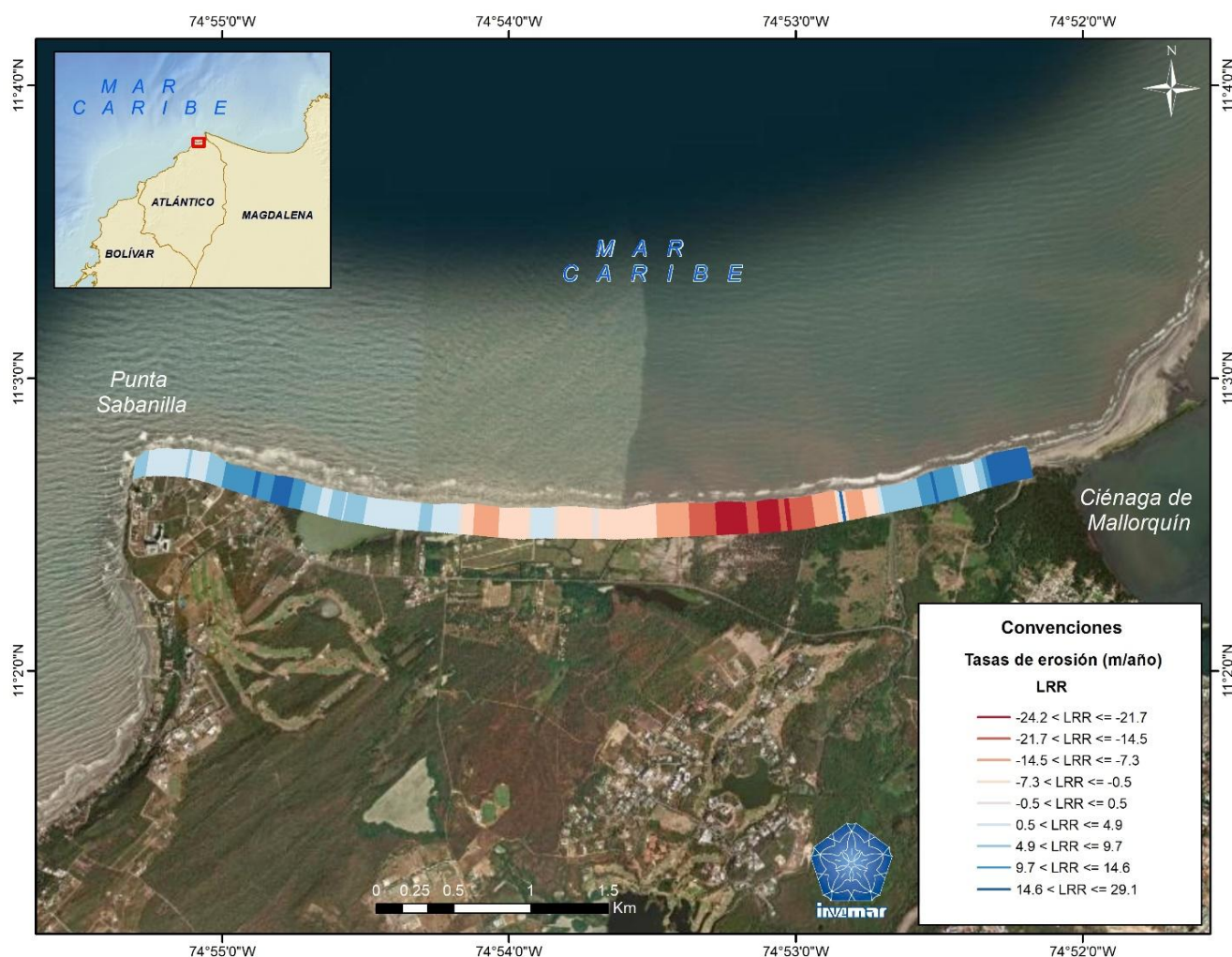


Figura 7-7. Tasa de regresión lineal entre la Ciénaga Mallorquín y Punta Sabanilla, entre noviembre 2023 y noviembre 2025. Fuente del mapa base: Esri World Imagery, 2025.

En el levantamiento de la línea de costa entre la playa de la ciénaga de Manatíes y el tajamar de Bocas de Ceniza, se realizó la descripción de las características morfológicas y de los ecosistemas presentes en este tramo litoral, identificadas en la Figura 7-8.

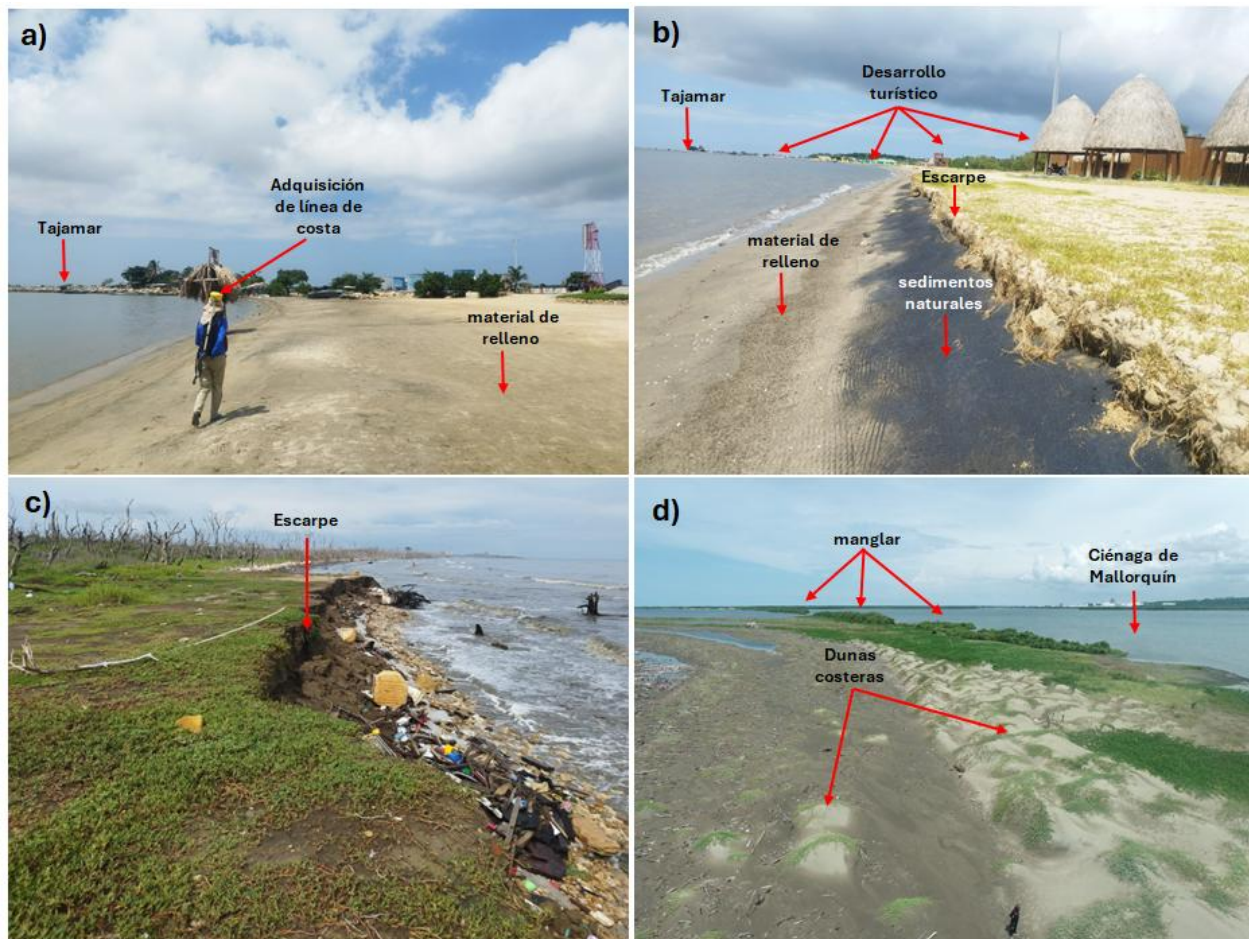


Figura 7-8. Características morfológicas y elementos relevantes identificados en la campaña de campo. a) material de relleno en la playa en el sector de Puerto Mocho; b) Redistribución del material de relleno en el sector central de Puerto Mocho; c) Escarpe erosivo en la desembocadura del arroyo León; d) sistema de dunas costeras.

La Figura 7-9 presenta los ortomosaicos y fotografías aéreas obtenidas a partir del vuelo con dron realizado en cuatro zonas de interés (Puerto Mocho, barra de Mallorquín, sector de la desembocadura del arroyo León y litoral urbano de Puerto Colombia). Estas áreas se seleccionaron por la concentración de actividades turísticas, la presencia de ecosistemas estratégicos como el manglar, la dinámica morfológica de la boca de la barra y la acumulación de maderas náufragas en la franja costera, identificados como potenciales fuentes de recursos para la implementación de obras de protección basadas en la naturaleza.



Figura 7-9. Levantamiento con dron de zonas de interés turístico y ambiental entre la Ciénaga de Mallorca y ciénaga de Manatíes.

Análisis de los cambios de la línea de costa del departamento

El análisis de los cambios de la línea de costa para el departamento del Atlántico se realizó mediante la comparación entre dos épocas climáticas contrastantes: Temporada húmeda (septiembre a noviembre) y temporada seca (enero a marzo), evaluadas para un periodo de 11 años (2014-2025).

Temporada seca

Para el departamento del Atlántico durante la temporada seca (Figura 7-10), los resultados del análisis de línea de costa indican una tendencia general a erosión marcado por una tasa promedio de $-2,2 \text{ m año}^{-1}$ a lo largo del litoral, con un 60,26% de los transectos en erosión. Registrando valores de erosión entre $-37,8 \text{ m año}^{-1}$ y $-0,01 \text{ m año}^{-1}$, siendo el sector de la Ciénaga de La Virgen (o también conocida como Ciénaga de Balboa) del municipio de Puerto Colombia,

los que presentan las tasas más altas de retroceso, provocando una disminución del área superficial de cuerpos de agua asociados a esta ciénaga (Figura 7-10).



Figura 7-10. Mapa de las tasas de cambio de Erosión (LRR) en la línea de costa del Atlántico durante la temporada seca. Fuente del mapa base: Esri World Imagery, 2025.

En contraste, también se identifican procesos de acreción, cuyos valores varían entre $0,02 \text{ m año}^{-1}$ y $100,13 \text{ m año}^{-1}$. Presentando las mayores tasas de avance de la línea de costa en el sector de punta Puerto Velero y punta Morro Hermoso (Figura 7-11).

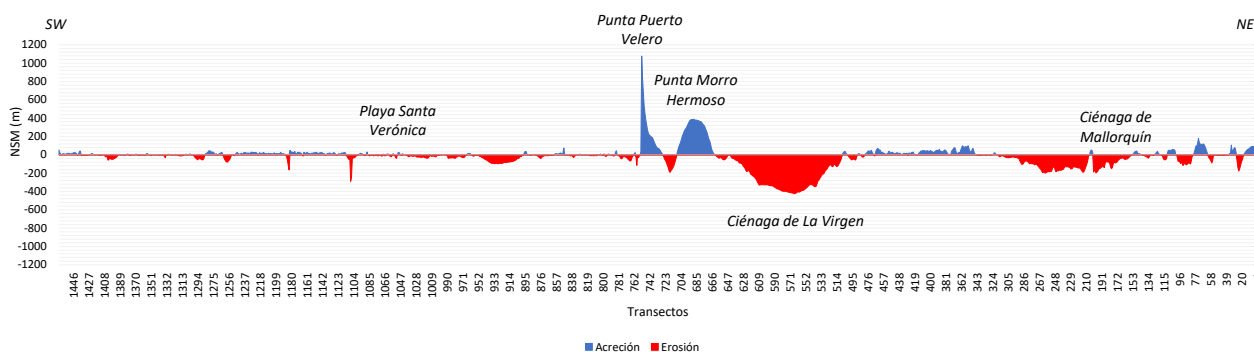


Figura 7-11. Movimiento neto de línea de costa (NSM) para el Atlántico durante temporada seca.

Temporada Húmeda

Durante la temporada húmeda (Figura 7-12), los resultados muestran una tendencia general a la erosión con una tasa promedio de $-2,07 \text{ m año}^{-1}$. Los valores de retroceso de la línea de costa varían entre $-0,01 \text{ m año}^{-1}$ y $-34,54 \text{ m año}^{-1}$, siendo los sectores de la Ciénaga de La Virgen, seguidos por la desembocadura del Arroyo León (entre la Ciénaga de Manatíes y la Ciénaga de Mallorquín) los sectores que presentan mayor retroceso.

Aunque la erosión predomina en la mayoría de los transectos (62,42%), para la temporada húmeda se evidencia una disminución en la tasa de erosión para el sector de Ciénaga de La Virgen respecto a la temporada seca ($-37,8 \text{ m año}^{-1}$). Este comportamiento puede estar asociado al incremento en el aporte fluvial y sedimentario generado por las lluvias.



Figura 7-12. Mapa de las Tasas de Cambio de Erosión (LRR) en la Línea de Costa del Departamento del Atlántico durante la Temporada Húmeda. Fuente del mapa base: Esri World Imagery, 2025.

En cuanto a los procesos de acreción, se observa una variación en los valores de cambio entre $0,01 \text{ m año}^{-1}$ y $101,03 \text{ m año}^{-1}$, presentando los mayores valores de acreción en sectores como la Punta Puerto Velero, Punta Morro Hermoso y hacia el Tajamar de Bocas de Ceniza (Figura 7-13).

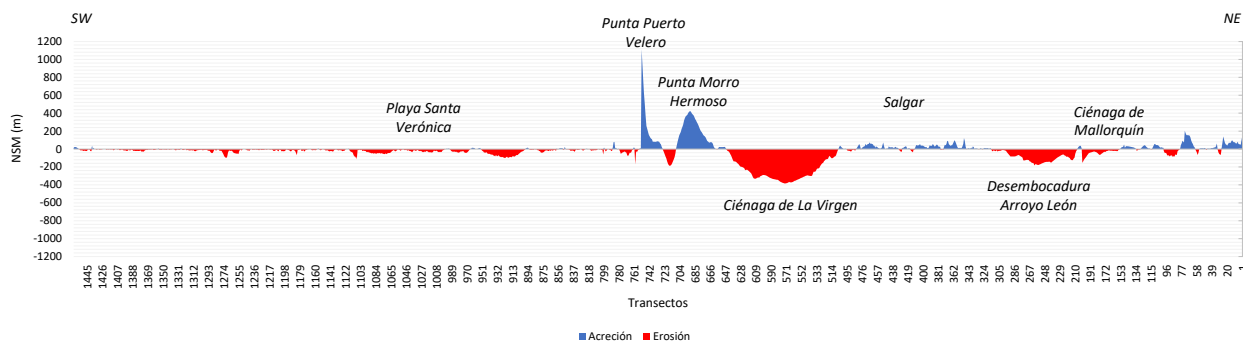


Figura 7-13. Movimiento neto de línea de costa (NSM) para para el Atlántico durante temporada húmeda.

Comparación entre temporadas

La comparación entre ambas temporadas muestra en general una tendencia predominante de erosión a lo largo del litoral del departamento del Atlántico, sin embargo, varía de acuerdo con ambas temporadas (Figura 7-14). Para el análisis, se seleccionaron siete transectos distribuidos a lo largo del litoral del departamento del Atlántico, abarcando sectores con distintos comportamientos. Sectores como la Ciénaga de La Virgen, la desembocadura del Arroyo León y Playa Santa Verónica, mantienen tasas negativas en ambas épocas, aunque en la temporada húmeda se observa una disminución de la magnitud erosiva en la Ciénaga de La Virgen, posiblemente asociada al aumento del aporte fluvial y sedimentario durante las lluvias.

Por otro lado, zonas con alta acreción como Punta Puerto Velero y Punta Morro Hermoso muestran tendencias consistentes de ganancia de la línea de costa en ambas temporadas, con valores incluso ligeramente mayores durante la temporada húmeda. En contraste, Salgar y la Ciénaga de Mallorquín presentan cambios más moderados, con disminuciones en las tasas tanto de erosión como de acreción en época húmeda.

En resumen, la comparación evidencia que la temporada seca concentra los valores extremos de erosión, mientras que la temporada húmeda presenta una mayor extensión de transectos afectados, aunque con tasas generalmente menos severas.

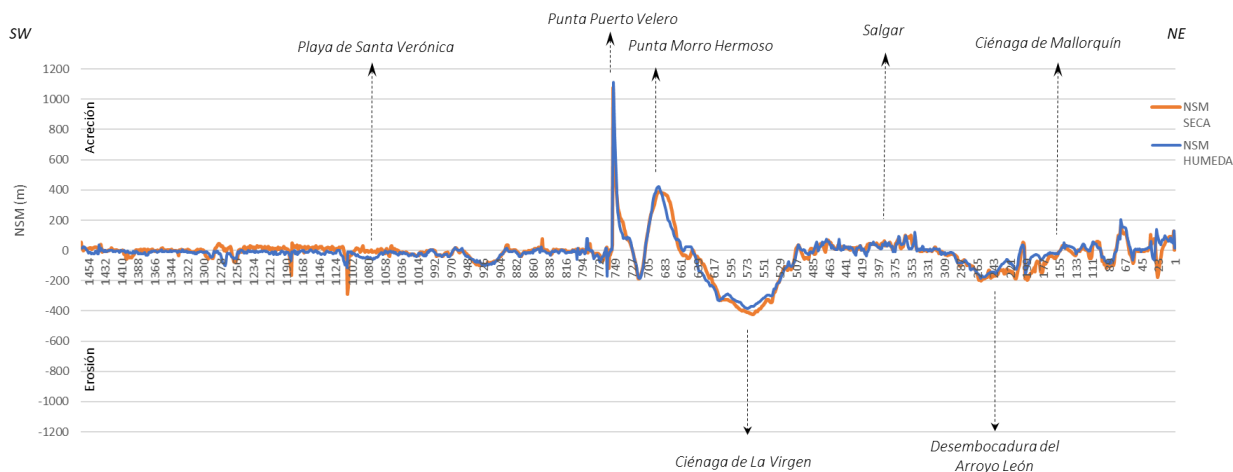


Figura 7-14. Comparación de la variación de NSM para el departamento del Atlántico durante las temporadas seca y húmeda.

Análisis de perfiles de playa

El análisis interanual (2024-2025) de los perfiles topográficos en el sector de la barra de la ciénaga de Mallorquín evidenció un patrón erosivo, caracterizado por un retroceso de la línea de costa entre 1 y 3 m y una reducción en la altura de la duna entre 0,25 y 0,61 m (Figura 7-15).

Los perfiles PF01 y PF02 mostraron comportamientos similares, con un aumento en la pendiente y la elevación en la zona de playa frontal ($\Delta Z = + 0,3$ m). Este cambio es consecuencia de la intervención mediante relleno artificial realizado en el marco del proyecto de recuperación de Puerto Mocho. Adicionalmente, se observó la formación de una barra sumergida en el año 2025 ($\Delta Z = 0,2-0,3$ m) producto de la dinámica de transporte sedimentario (Figura 7-15a y b).

En la zona de convergencia entre la barra y la flecha litoral, el perfil PF04 se caracteriza por una morfología de baja pendiente ($<1,5^\circ$) e irregular, asociada a la presencia de cordones dunares con vegetación herbácea y depresiones que forman lagunas intermedias. Para 2025, este perfil mostró una reducción en la elevación de la cresta de la duna principal, una migración hacia tierra de la laguna y un aumento en su profundidad de aproximadamente 0,2 m (Figura 7-15c). El perfil del brazo arroyo León de la Figura 7-15d registró el mayor retroceso horizontal (3 m), junto con la aparición de un escarpe erosivo y el desarrollo de una barra sumergida.

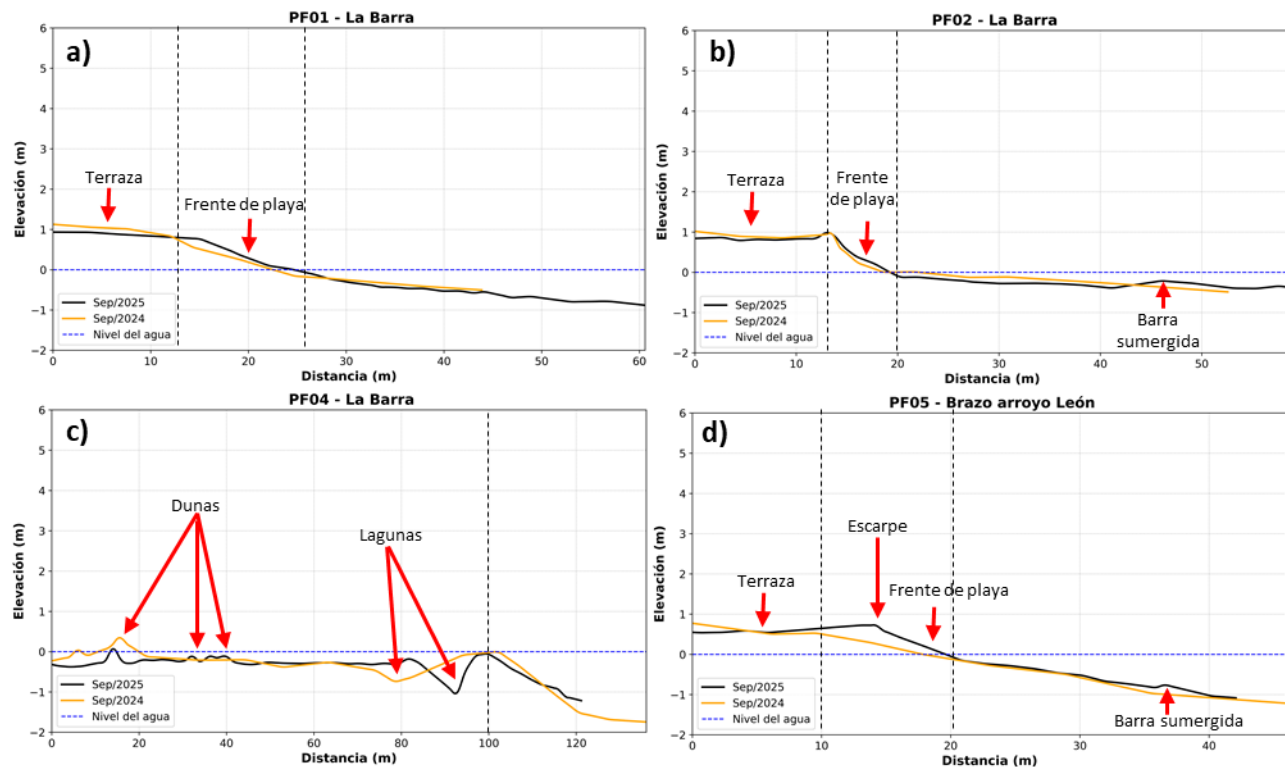


Figura 7-15. Evolución morfológica de perfiles de playa (2024 y 2025) en la barra de la ciénaga de Mallorquín.

El análisis comparativo de los perfiles de playa monitoreados entre el margen occidental de la desembocadura del arroyo León y Punta Sabanilla reveló una heterogeneidad en sus rasgos morfológicos, asociada a la variación espacial de los agentes hidrodinámicos, condiciones geomorfológicas, influencia de ecosistemas adyacentes y presiones antrópicas (Figura 7-16).

El perfil PF06 se caracteriza por la presencia de una terraza inicial de ~2 m de elevación, seguida de un escarpe activo pronunciado (26°) en la base de la terraza (Figura 7-16a). El análisis evidencia una transferencia de sedimentos, donde el material erosionado del escarpe se ha acumulado en el frente de playa.

Los perfiles PF07, PF08 y PF09, limitados en su sector posterior por manglar y zonas inundables con acumulación de restos vegetales, mostraron una estabilidad morfológica. Los cambios de elevación se concentraron en la zona emergida del perfil PF07, siendo mínimos ($\Delta Z = -0,2$ m), mientras el frente de playa permaneció estable (Figura 7-16b). No obstante, en la playa Pitalito (Figura 7-16c) y el manglar los Manatíes (Figura 7-16d) se registró un retroceso moderado de la línea de costa (~ 5 m). Estos patrones sugieren un equilibrio sedimentario influenciado positivamente por la presencia de ecosistemas de manglar y acumulación de madera.

El perfil de la Figura 7-16e en la ciénaga Los Manatíes mostró un descenso vertical en la playa trasera ($\Delta Z = -0,5$ m), asociada con la presencia de una zona inundable adyacente, mientras que el frente de playa se mantuvo estable. Un hallazgo relevante respecto a 2024 fue la identificación de barras sumergidas entre los 20 y 40 m desde el origen del perfil. Finalmente, el perfil PF11 en Punta Sabanilla registró una progradación del frente de playa de 1,5 m, aunque la posición de la línea de costa se mantuvo constante. El principal cambio morfológico consistió en un aumento de la pendiente en la plataforma de abrasión, atribuido a procesos de escorrentía superficial (Figura 7-16f).

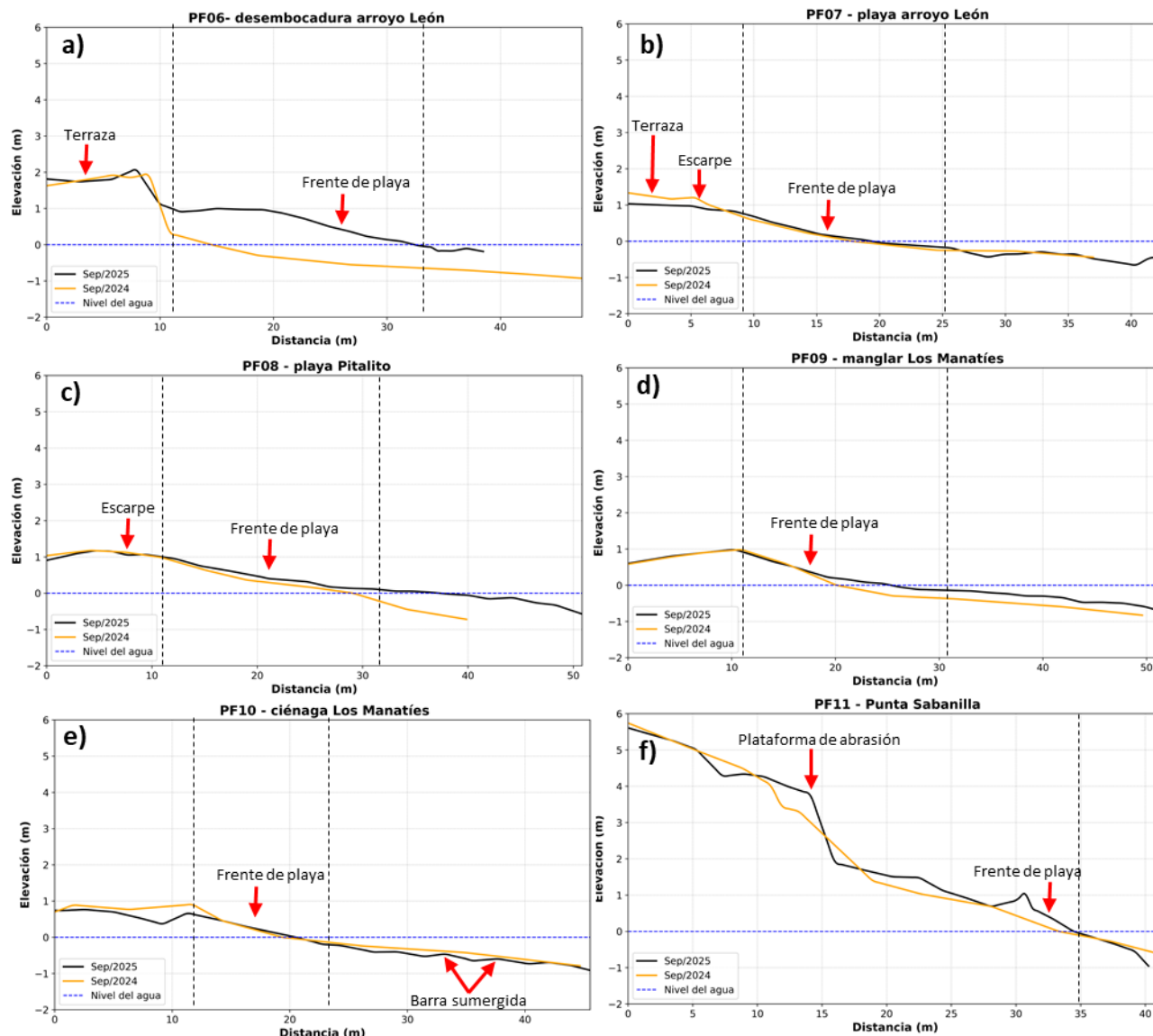


Figura 7-16. Evolución morfológica de perfiles de playa (2024 y 2025) a lo largo del tramo comprendido entre el margen occidental de la desembocadura del arroyo León y Punta Sabanilla.

Análisis de sedimentos

Granulometría

En la Figura 7-17a se presenta la relación entre el tamaño de grano medio y la selección de las muestras de sedimento recolectadas en los perfiles de playa durante los muestreos realizados en 2024 y 2025. Los sedimentos se agrupan principalmente en la categoría de arenas finas, con una menor proporción de arenas medias ($\phi = 1,5-3$), caracterizadas en su mayoría por una

selección moderada. Durante 2024, las muestras exhiben una mayor dispersión en los valores de selección, destacándose el registro PF7-MESO (zona mesomareal) por presentar una pobre selección. En contraste, en 2025 los sedimentos tienden a concentrarse hacia valores de selección moderada, lo que sugiere una mayor uniformidad granulométrica.

La relación entre el tamaño de grano medio y la curtosis (Figura 7-17b) evidencia el predominio de arenas finas con distribuciones que varían desde platicúrticas hasta muy leptocúrticas. En 2024 se identifican sedimentos muy leptocúrticos ($>1,5 \phi$), mientras que en 2025 estos se agrupan principalmente en el rango mesocúrtico ($0,90-1,11 \phi$), indicando una menor presencia de extremos granulométricos. En la Figura 7-17c, que relaciona la selección y la asimetría, el 43 % de los registros presentan distribución simétrica, aunque se observan valores que abarcan todo el espectro de asimetrías. En 2024 se evidencia una mayor dispersión, con asimetrías gruesas en la zona supramareal y muy finas en la inframareal.

El conjunto de parámetros granulométricos muestra que 2024 se caracteriza por una mayor variabilidad en los parámetros de selección, curtosis y asimetría, posiblemente asociada a condiciones hidrodinámicas más energéticas. En contraste, 2025 refleja un escenario más estable, con sedimentos mejor seleccionados y distribuciones más simétricas. Las diferencias entre las zonas supramareal, mesomareal e inframareal son consistentes con los gradientes energéticos del perfil de playa, observándose una mayor homogeneidad en la supramareal y mayor variabilidad granulométrica en la inframareal, donde la energía del oleaje ejerce un control más marcado sobre la dinámica sedimentaria.

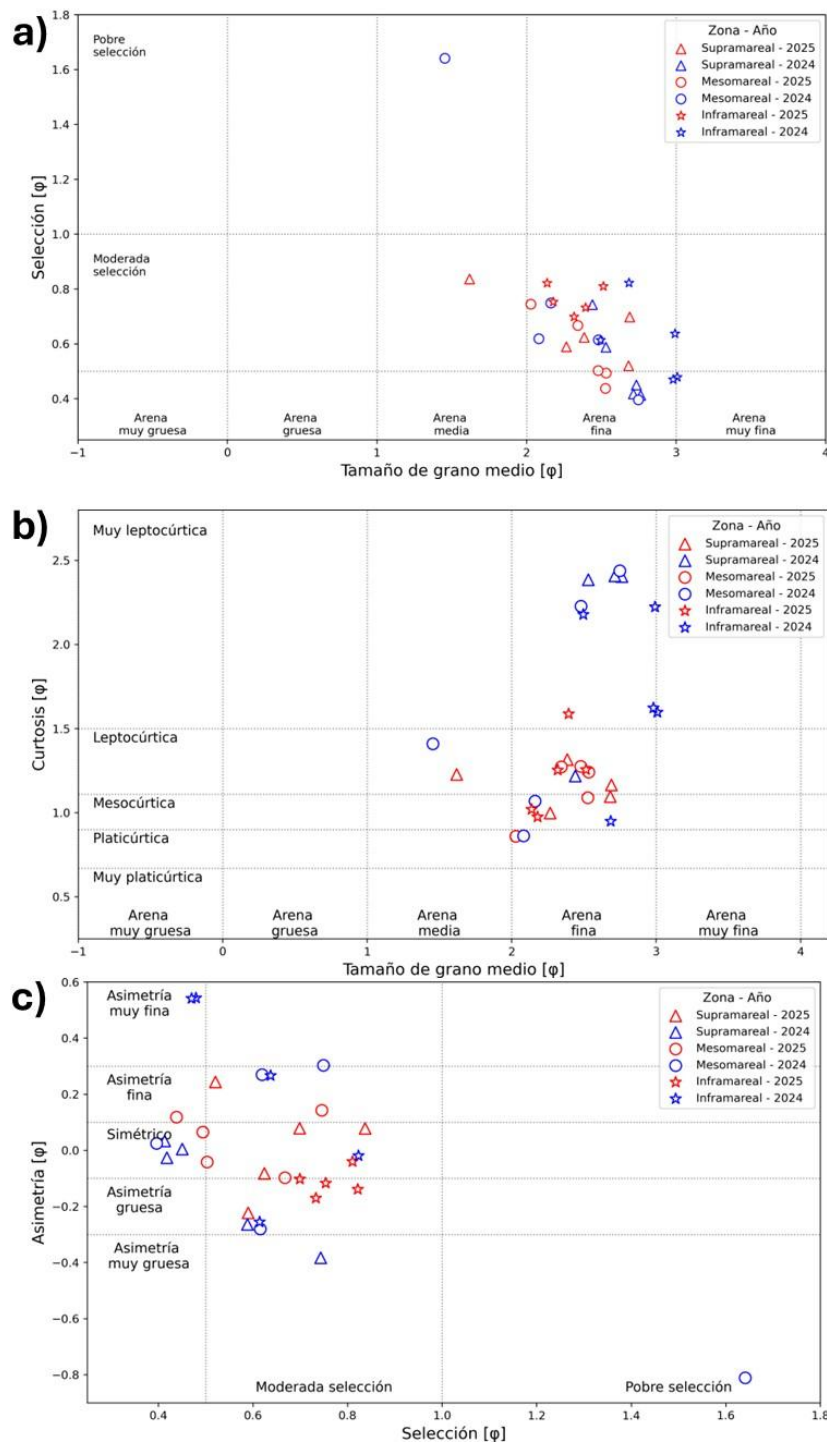


Figura 7-17. Distribución de los parámetros texturales de los sedimentos de playa recolectados en 2024 y 2025 entre la Ciénaga de Mallorquín y ciénaga de Manatíes. (a) tamaño de grano medio vs selección; (b) tamaño de grano medio vs curtosis; (c) selección vs asimetría.

Mineralogía

El análisis mineralógico de las muestras de playa obtenidas en 2024 ([INVEMAR-CRA, 2024](#)) y 2025 (Figura 7-18), presentaron una composición dominada por cuarzo (55 – 61 %), seguido por feldespatos (8 – 22 %), máficos (5 – 17 %), fragmentos líticos (3 – 15 %) y en menor proporción minerales accesorios (epidota) con un porcentaje menor al 5 %, minerales magnéticos (1 – 8 %) y componentes biogénicos y organogénicos inferiores al 2 %, por último, las micas y carbonatos fue baja o nula en ambos años.

De acuerdo con los resultados, el cuarzo para ambas campañas predominó, mostrando una madurez textural y mineralógica. En contraste, los feldespatos y los máficos presentaron variaciones interanuales, en 2024 el porcentaje de feldespatos oscilaron entre 5 % y 20 %, mientras que en 2025 se presenta un ligero incremento alcanzando valores promedios entre 15 % y 18 %, lo que puede asociarse con aportes recientes o directo de fuentes continentales.

Los fragmentos líticos y minerales accesorios como la epidota, en 2024 los fragmentos líticos varían entre 3 % y 15 %, mientras que en 2025 son similares o ligeramente más altos alcanzando hasta 13 %, estos líticos podrían ser probablemente sedimentarios (lodolitas) y metamórficos (e esquistos). Los minerales accesorios (epidota) mantienen porciones bajas pero consistentes (2-5 %).

Los minerales magnéticos variaron generalmente entre 1 y 8 %, en particular para el 2024, las muestras P2-MESO y SF7-SUPRA alcanzan contenidos del 20 %, para el 2025, las muestras P2-SUPRA, MESO e INFRA presentan más contenido de estos minerales magnéticos en la fracción 0,063 mm y la muestra PF10-SUPRA, que en su muestra predominante (0,125 mm) presenta 8 % de contenido y la fracción 0,063 mm presenta una anomalía de hasta un 40 % de contenido de minerales magnéticos.

En cuanto a los componentes biogénicos y organogénicos, su contenido es bajo, menores o iguales al 2 % en las dos campañas, lo que evidenció una baja biogénica local o un alto aporte terrígeno. En ambientes de alta energía las partículas carbonatadas tienden a disolverse o fragmentarse, lo que coincide con la ausencia casi total de carbonatos en las muestras.

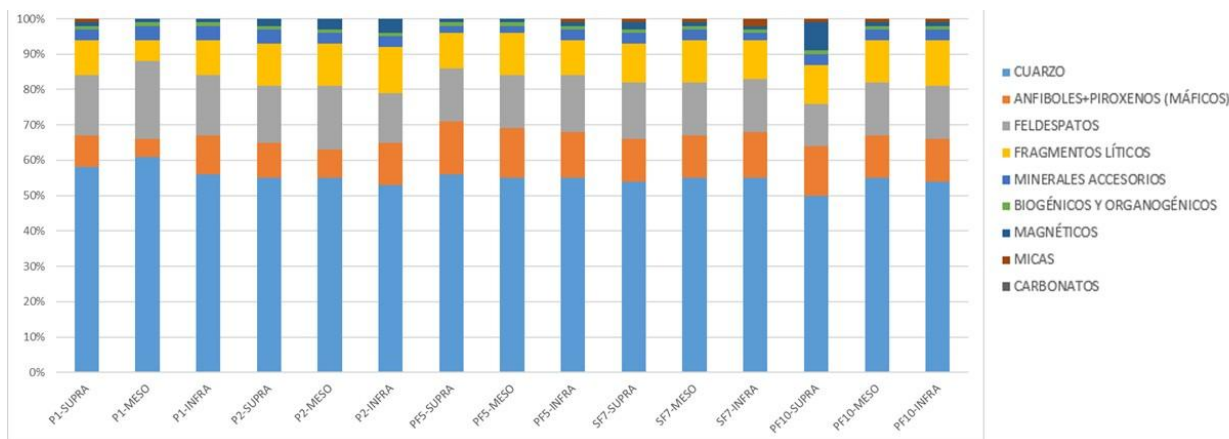


Figura 7-18. Composición mineralógica de los sedimentos de playa entre la ciénaga de Mallorquín y ciénaga de Manatíes.

Calcimetría

El contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) en los sedimentos de playa entre el Tajamar de Bocas de Ceniza y ciénaga de Manatíes registró las variaciones temporales y espaciales entre las campañas de campo en 2024 y 2025 (Figura 7-19). En general, los valores registrados durante 2025 fueron bajos en comparación con los observados en 2024, se identificaron concentraciones mayores en algunos perfiles, especialmente en PF07 y PF05, alcanzando máximos de 7,3 %. En contraste, durante 2025 los valores se mantuvieron por debajo del 1,4 % en todos los niveles de los perfiles analizados, con ligeros incrementos en las muestras PF01-SUPRA, PF01- INFRA y PF10-INFRA.

En términos espaciales, se observó una tendencia a mayores concentraciones de carbonato de calcio en los sectores MESO e INFRA de los perfiles, relacionados con los aportes biogénicos o el retrabajo de fragmentos carbonatados en la zona intermareal y submareal. La reducción generalizada del contenido de CaCO_3 en 2025 refleja cambios en la dinámica sedimentaria local, asociados con una mayor proporción de arenas siliciclásticas y con la disminución del material carbonatado disponible. En el sector de Puerto Mocho (PF01 a PF05), el contenido de CaCO_3 en 2025 en la zona mesomareal se redujo a 0 %, lo cual se asocia con el material de relleno compuesto por arenas finas que se agregaron a los sedimentos naturales. Una vez incorporadas al sistema, estas arenas han sido movilizadas por la acción de los agentes hidrodinámicos como las corrientes litorales, favoreciendo el transporte y el intercambio de materiales entre las zonas de playa y a lo largo de la celda litoral, lo que ha generado modificaciones en las propiedades sedimentarias.

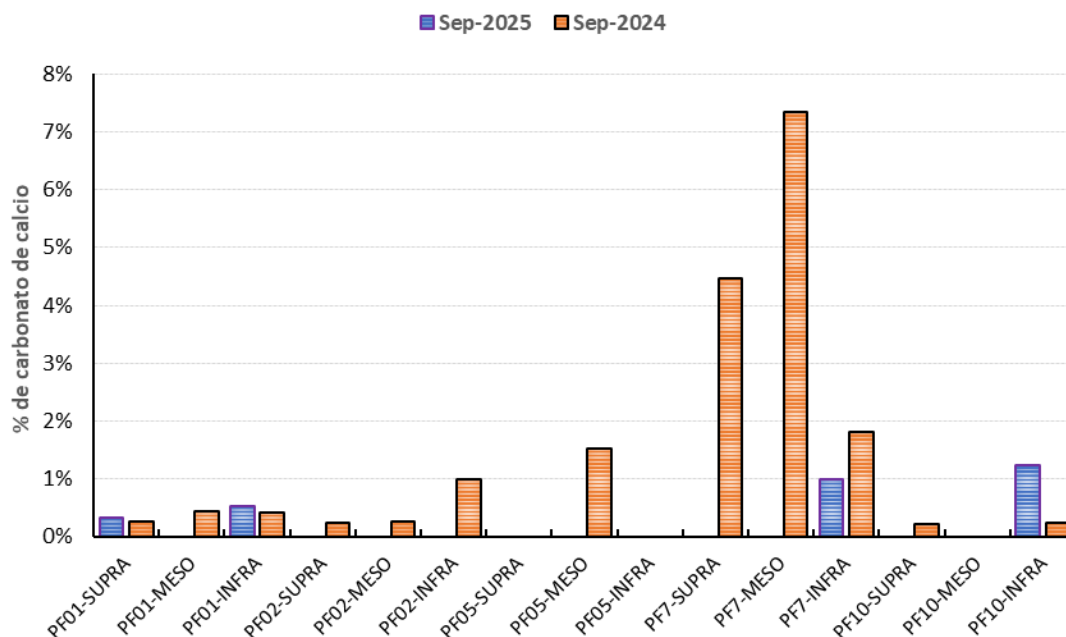


Figura 7-19. Comparativo del porcentaje de carbonato de calcio durante 2024 y 2025 en sedimentos de playa entre la ciénaga de Mallorquín y ciénaga de Manatés.

Materia orgánica

La materia orgánica muestra la variación del porcentaje de materia orgánica en las muestras recolectadas durante 2024 y 2025 (Figura 7-20). Los porcentajes oscilaron entre 0,1 % y 3,6 %, evidenciándose los mayores porcentajes en PF02-MESO (3,6 % en 2025) y PF05-SUPRA (2,1 % en 2024). En la mayoría de los perfiles se observó una leve disminución de la materia orgánica en 2025, aunque algunos perfiles, tales como PF02-MESO, PF10-MESO e INFRA mostraron incrementos.

Los niveles más altos se concentraron en las zonas meso e inframareal, asociadas a restos orgánicos transportados por el oleaje y las corrientes litorales. En particular, el perfil PF2, ubicado en Puerto Mocho, mostró un aumento notable del contenido orgánico, asociado con aportes de materia orgánica provenientes del sistema lagunar. Por el contrario, la zona supramareal presentó los porcentajes más bajos, coherentes con un dominio de agentes de transporte menos energéticos, principalmente el viento, lo que limita la acumulación de materia orgánica. Las variaciones temporales observadas sugieren cambios en los aportes y en la redistribución de sedimentos, posiblemente asociados con procesos de transporte del material de relleno y con la interacción continua entre el sistema playa-ciénaga.

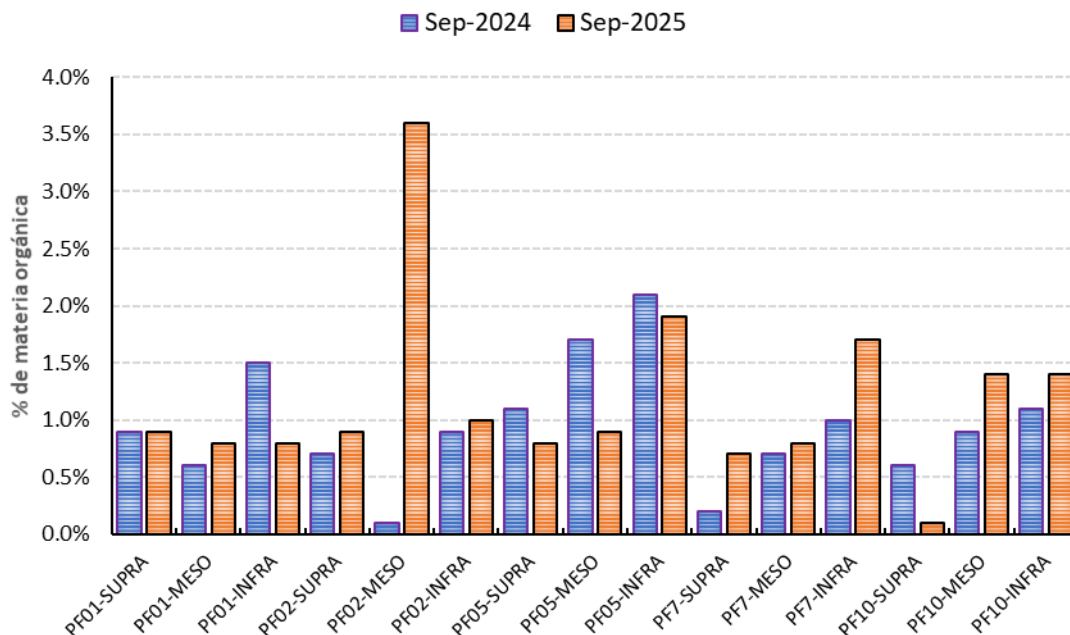


Figura 7-20. Comparativo del porcentaje de materia orgánica durante 2024 y 2025 en sedimentos de playa entre la ciénaga de Mallorquín y ciénaga de Manatés.

7.1.3.2. Análisis de otros criterios para la definición de las SbN

Presión Antrópica

Para analizar el crecimiento urbano en el área comprendida entre la Ciénaga de Mallorquín y Punta Sabanilla, se empleó el visor multianual con datos Sentinel-1 ([Alpala, 2025](#)). Este visor permite identificar cambios en la superficie terrestre a través de variaciones en la retrodispersión del radar, lo cual fue útil para detectar cambios en la infraestructura urbana debido a la alta respuesta de las superficies duras. En la Figura 7-21, se observa el análisis multitemporal desde el 2015 hasta la actualidad, mostrando en tonos brillantes (alta retrodispersión) zonas indicativas de la presencia edificaciones, vías y rellenos.

En general, al comparar las imágenes se observa un aumento progresivo de estas zonas en el entorno de la Ciénaga de Mallorquín. Para el 2015 al 2016, estos valores estaban principalmente ubicados al sur de la Ciénaga, específicamente hacia Barranquilla, siendo muy limitados hacia la zona costera, sin embargo, en los años posteriores se evidencia una expansión más continua y densa alrededor de la Ciénaga y también hacia Punta Sabanilla. Desde el 2021 hasta la actualidad, se incrementó la presencia de parches urbanos, implicando así mismo, el aumento de la huella antrópica sobre el sistema lagunar.

En conjunto, se observa un aumento notorio de la presión antrópica sobre el área de estudio, evidenciando procesos recientes de urbanización que han modificado la estructura espacial del paisaje alrededor de la ciénaga.

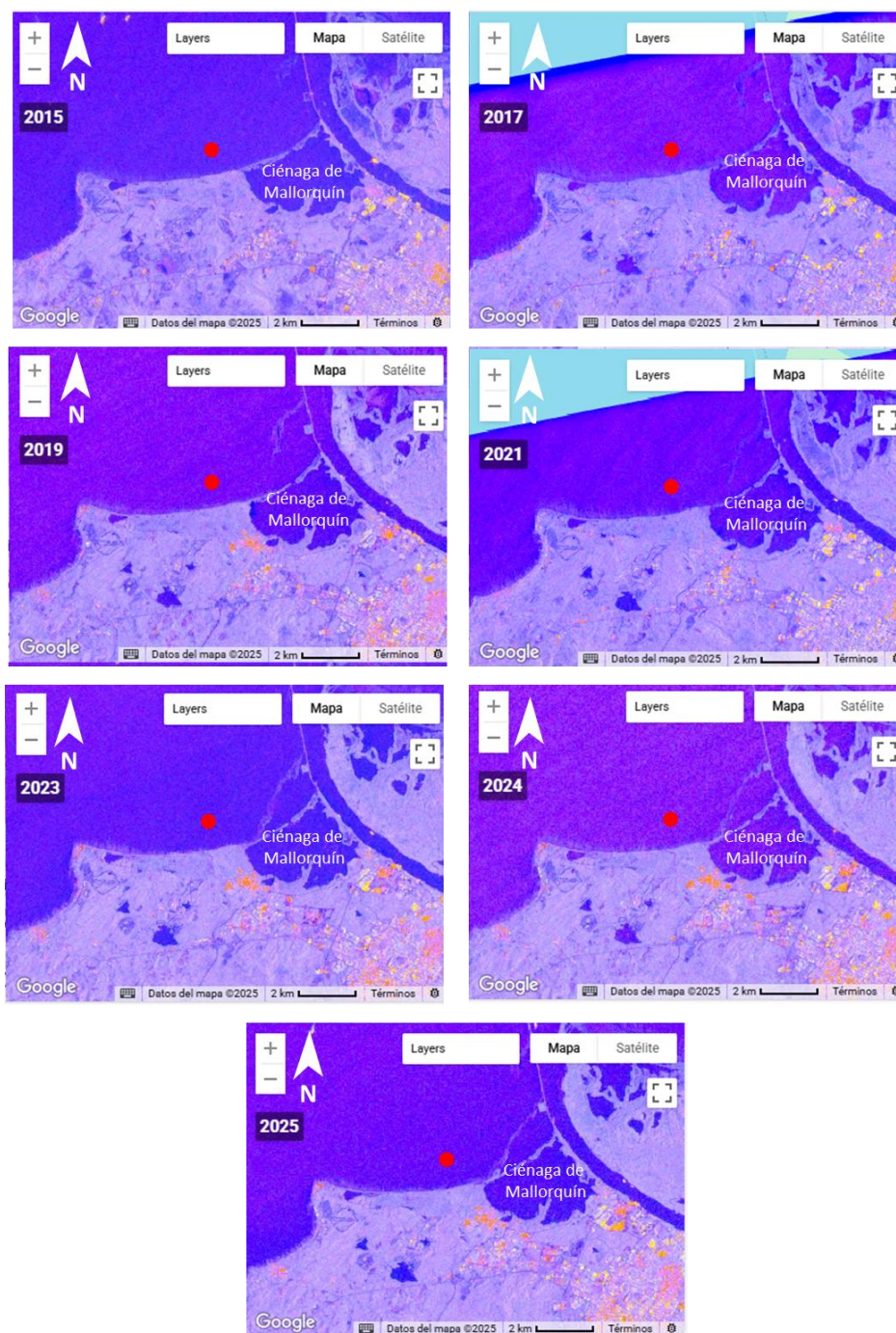


Figura 7-21. Desarrollo urbano para la zona de la Ciénaga de Mallorquín para el periodo 2015-2025.

Evolución de la Espiga

Las espigas son bancos de arena que se desarrollan en costas interrumpidas, generalmente encontradas donde la costa tiene cambios drásticos en su orientación. Esta acumulación de arena, unida de un extremo al continente terminando en aguas abiertas en el otro, siendo más joven que la masa de tierra de donde se encuentra unida puede ser clasificada como espiga litoral. Las espigas pueden variar considerablemente en forma y complejidad de acuerdo con la dirección de incidencia del oleaje, suministro de sedimento, como también debido a factores geológicos del área donde se desarrollan ([Petersen, 2008](#))

Con el fin de analizar la evolución morfológica de la espiga de Mallorquín, se determinó mediante imágenes satelitales los cambios que ha sufrido esta espiga desde 2014 hasta el 2025 (Figura 7-22), evidenciando la dinámica costera de esta georforma, marcada por procesos de acreción y reorganización de sedimentos.

Entre 2014 y 2018 la espiga presenta una forma relativamente estable, con cambios en la curvatura, a partir del 2019 se observa un crecimiento de la geoforma hacia el oeste, hasta que, en 2023, la espiga alcanza su cierre total, conectándose en el extremo oeste con la zona costera de la Ciénaga de Mallorquín. Adicionalmente, desde 2023 comienza a formarse una segunda acumulación arenosa en la parte superior del sistema, que continúa creciendo durante 2024 y 2025.

Este comportamiento sugiere un cambio en los patrones de transporte litoral y en la disponibilidad de sedimentos, reflejando una fase reciente de mayor actividad morfodinámica que ha modificado la configuración del borde costero en este sector.

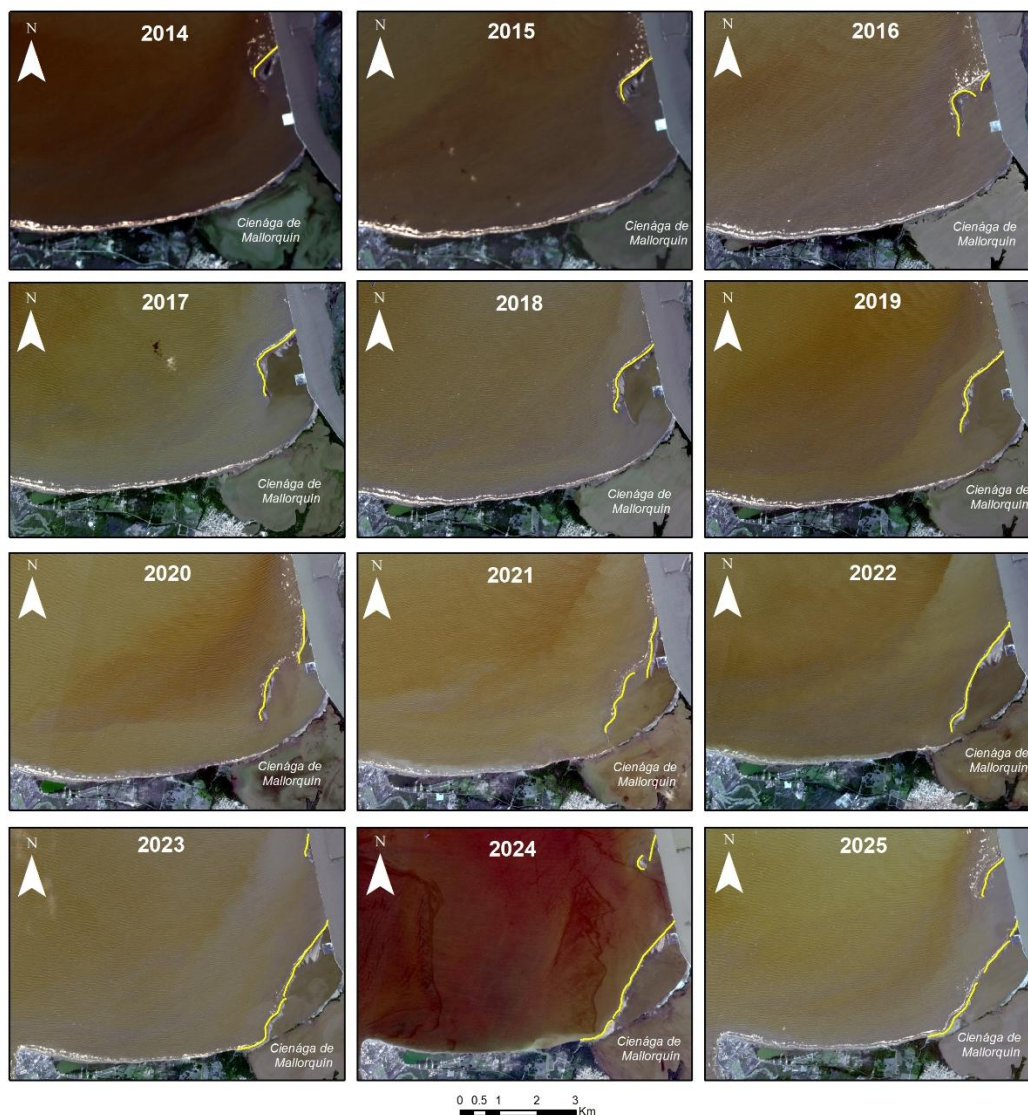


Figura 7-22. Evolución anual de la espiга de Mallorquín entre el 2014 y 2025.

Estado del arte de los criterios de evaluación

La definición de los criterios de evaluación constituye una fase crítica de los procesos de análisis multicriterio, determinando la calidad y representatividad de las alternativas evaluadas. Dentro del marco normativo nacional como parte de la estrategia nacional de SbN, el [Departamento Nacional de Planeación – DNP, 2024](#) identificó siete criterios que en su conjunto permiten caracterizar de manera general los proyectos de SbN (Tabla 7-1). Estos fueron elaborados en un proceso participativo con actores públicos y privados, usando como base el Estándar de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza ([UICN, 2020](#)).

Tabla 7-1. Criterios de acuerdo con los lineamientos del [Departamento Nacional de Planeación, 2024](#).

Nº de criterio	Descripción
1	Las SbN responden eficazmente a desafíos que se configuran como problemas que afectan el bienestar humano de las comunidades en los territorios.
2	Las SbN contribuyen a la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas.
3	En el diseño y la implementación de las SbN se desarrollan procesos de gobernanza inclusivos y transparentes, y se adoptan salvaguardas sociales y ambientales.
4	El diseño de las SbN se adapta a las características del entorno.
5	Las SbN son económicamente viables.
6	Las SbN se integran al marco político y normativo del país.
7	Las SbN se gestionan con base en seguimiento y evaluación periódicos basados en evidencias.

Estos criterios planteados en el orden nacional constituyen una guía metodológica para orientar el diseño de proyectos, facilitar su implementación y visibilizar los beneficios de los proyectos SbN. Con base en estos lineamientos generales, en este estudio se planteó su adaptación al contexto de la erosión costera entre la ciénaga de Manatíes y el tajamar de Bocas de Ceniza. Tal adaptación sirve como base para la construcción de un análisis multicriterio que facilite la comparación y priorización de medidas de intervención basadas en la naturaleza ([PNUMA, 2022](#)).

El creciente interés en las SbN requiere comprender mejor las interacciones entre el entorno natural, el entorno construido y el contexto social. En este sentido, resulta necesario incorporar criterios e indicadores que combinen aspectos sociales, ecológicos y técnicos en el marco de la ingeniería costera.

Por otro lado, teniendo en cuenta la estructuración de criterios desde un ámbito internacional, la Comisión Europea ([Dumitru y Wendling, 2021](#)) establece que los proyectos de SbN deben evaluarse considerando cuatro ámbitos fundamentales: ambiental, social, económico y técnico-físico (Figura 7-23). Esta categorización ofrece una estructura metodológica clara para integrar las múltiples dimensiones que inciden en la efectividad y sostenibilidad de las medidas propuestas.

En consecuencia, dentro de cada ámbito es necesario evaluar criterios específicos de acuerdo con la disponibilidad y calidad de los datos recopilados, que permitan un análisis integral de las alternativas identificadas. En este sentido, [Castillo \(2024\)](#) complementa los cuatro ámbitos al

integrar los ocho indicadores socioeconómicos de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – UICN).

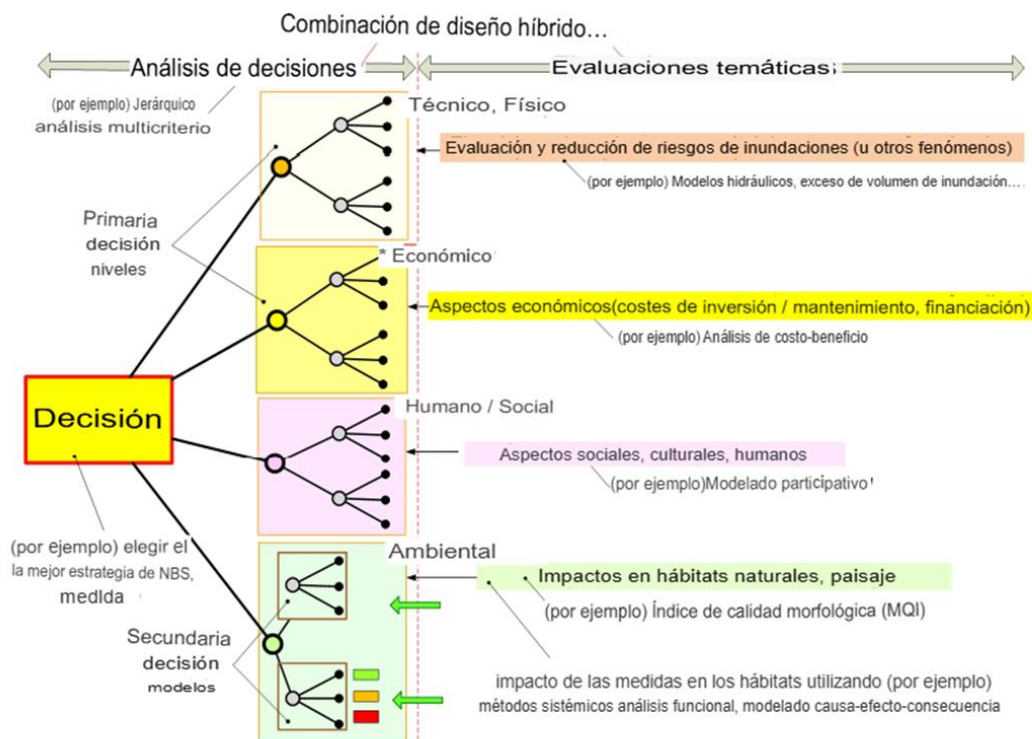


Figura 7-23. Ámbitos tratados por la Comisión Europea para la toma de decisión en SbN. Adaptado de [Dumitru y Wendling, 2021](#).

Estos indicadores se agrupan dentro de las cuatro categorías principales, permitiendo un enfoque iterativo de la configuración de criterios e indicadores (Tabla 7-2).

Tabla 7-2. Criterios e indicadores propuestos en [Castillo \(2024\)](#).

Ámbitos clave	Criterios	Indicadores
<i>Ambiental</i>	Biodiversidad y Paisajes	Entorno (Grado de urbanización), criterio dunar, paisaje
<i>Social/Humano</i>	Percepción Social	Percepción de problemas relevantes (encuesta), valoración de medidas de actuación (encuesta), percepción futura del litoral (encuesta)
	Gobernanza	Tejido asociativo (Asociaciones ambientales), estrategia de adaptación (medidas de actuación), política (apoyo político)
<i>Económico</i>	Turismo	Demografía, densidad, alojamiento
<i>Técnico/físico</i>	Vulnerabilidad	Ancho de playa, morfología (tipo de arena, espacio de acomodación)
	Peligrosidad	Erosión, oleaje, morfología (pendiente)

Respecto a la metodología en la selección de los criterios, [Adem-Esmail y Geneletti \(2018\)](#) tras la revisión de 86 artículos en los que aplicaron la metodología multicriterio para el análisis de decisiones en la conservación de la naturaleza y biodiversidad, destacando que en el 49 % de los estudios los criterios fueron definidos por los autores sin participación de actores involucrados y en el 51 % se incorporaron expertos externos y actores involucrados (Figura 7-24). Sin embargo, concluyen que, para aplicaciones exitosas de la metodología multicriterio, particularmente en la definición de alternativas y los criterios de evaluación, su identificación debe ser colaborativa con los actores involucrados mediante talleres, reuniones, entrevistas, grupos focales, encuestas y técnicas Delphi.

FORMULACIÓN DE CRITERIOS

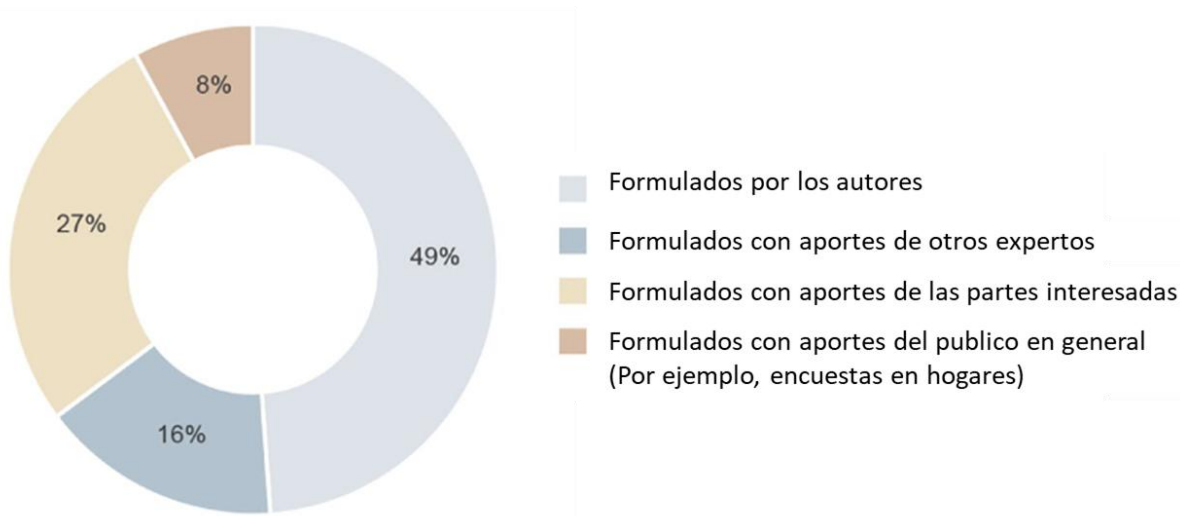


Figura 7-24. Formulación de criterios en los artículos revisados por [Adem-Esmail y Geneletti \(2018\)](#).

A partir de la revisión bibliográfica descrita, y considerando los ámbitos de la de la comisión europea junto con los criterios planteados en proyectos anteriores ([INVEMAR-MADS, 2021](#), [INVEMAR-MADS, 2022](#)), se definieron cinco criterios iniciales para evaluar y comparar las alternativas de intervención, permitiendo generar una calificación inicial y ranking de alternativas SbN.

1. Generación de servicios ecosistémicos: Los servicios ecosistémicos comprenden los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, se agrupan en sostenimiento, aprovisionamiento, regulación y culturales. Para este criterio, se debe tener en cuenta que los servicios de aprovisionamiento pueden reducir la vulnerabilidad social y económica de las comunidades al brindar medios de vida, que los servicios de regulación y sostenimiento pueden conducir a que los ecosistemas disminuyan la intensidad de las amenazas; y por último, que los servicios culturales favorecen la construcción de resiliencia y adaptación. En este caso, si la alternativa no genera o no mejora los servicios ecosistémicos relacionados con la reducción del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático, disminuye su prioridad frente a otras alternativas ([INVEMAR-MADS, 2022](#)).
2. Contribución al desarrollo local: Este criterio comprende el desarrollo local de la comunidad y del municipio, considerando las actividades económicas como el turismo, la pesca o la agricultura. La viabilidad de una alternativa, respecto a este criterio, depende del valor agregado que produce para la comunidad y los beneficios en el largo plazo. En este sentido, si una alternativa no contribuye con el desarrollo local, o lo hace en menor

medida respecto a otra, disminuye la posibilidad de que sea priorizada ([INVEMAR-MADS, 2022](#)).

3. Costos económicos: Este criterio examina los costos asociados al diseño, implementación, operación y mantenimiento de cada alternativa. Si las intervenciones son muy costosas, en comparación con su contribución al desarrollo o la generación de servicios ecosistémicos, disminuye la probabilidad de gestionar alianzas estratégicas y asegurar recursos económicos para su financiación ([INVEMAR-MADS, 2022](#)).
4. Viabilidad técnica: Evalúa la factibilidad de implementación de cada alternativa en función del conocimiento e información disponible, ya que en algunos casos durante el proceso de selección de alternativas no se cuenta con información técnica detallada para definir su factibilidad. No obstante, se puede definir cuál de ellas probablemente presenta una mejor aptitud conforme a las condiciones ambientales de la zona. Si una de las alternativas se considera no apta o menos apta que otra, disminuye su viabilidad técnica y priorización (INVEMAR-MADS, 2022).
5. Aceptabilidad social y política: Este criterio analiza el nivel de apoyo, aceptación o resistencia por parte de la comunidad local, actores institucionales y autoridades. ([INVEMAR-MADS, 2022](#)).

Estos criterios serán posteriormente complementados y desagregados a una escala menor, definiendo indicadores, mediante la información recolectada en las actividades participativas realizadas con la comunidad y expertos.

7.1.4. Validación de criterios de las alternativas como SbN de manera participativa

7.1.4.1. Talleres Participativos con Actores Clave

En los talleres realizados se presentó la contextualización de los antecedentes del convenio y un resumen de los resultados obtenidos previamente. Posteriormente, los talleres se enfocaron en las alternativas de SbN para la mitigación de la erosión costera para el área comprendida entre la ciénaga de Manatíes y el Tajamar de Bocas de Ceniza, identificadas en talleres anteriores, con la finalidad de utilizarlas como insumo para el ejercicio de priorización.

La priorización o ranking de alternativas se llevó a cabo aplicando la encuesta de la Tabla 7-3, en la que los participantes debían calificar la importancia en una escala de 1 a 7 (1 = muy bajo, 3 = moderado, 5 = alto, 7 = máxima importancia) y considerando los cinco criterios de evaluación

planteados inicialmente (C1: Servicios ecosistémicos, C2: Desarrollo local, C3: Costos económicos, C4: Viabilidad técnica, C5: Aceptación social/política).

Tabla 7-3. Encuesta para la priorización de alternativas SbN para la mitigación de erosión costera entre la ciénaga de Manatíes y el Tajamar de Bocas de Ceniza.

Alternativa	C1 Servicios ecosistémicos	C2 Desarrollo local	C3 Costos económicos	C4 Viabilidad técnica	C5 Aceptación social/política	Observaciones
Siembra de manglar						
Restauración de dunas						
Dragado de área de sedimentación						
Uso de sedimentos de dragado						
Restablecimiento de flujos hídricos en canales secundarios						
Espolones						
Rompeolas / Enrocados						
Restablecimiento de flujos hídricos a través del tajamar occidental						
Trampas de sedimentos con madera naufraga						
Barras protectoras con madera náufraga						
Restablecimiento de flujos hídricos hacia la ciénaga mallorquín						

Taller con comunidades

El primer taller se llevó a cabo el 15 de octubre, dirigido a miembros de la comunidad y asociaciones locales, en el centro de gestión comunitaria y desarrollo empresarial asociación de pescadores ASOPLAYA en Riomar de Barranquilla, contando principalmente con la participación de la comunidad pesquera de la Ciénaga de Mallorquín. Adicionalmente, se programó un segundo taller dirigido a la población vinculada a la Ciénaga de Manatíes y Punta Roca, sin embargo, no se evidenció interés por parte de la comunidad para participar.

De acuerdo con las encuestas diligenciadas por la comunidad, se evidenció una mayor valoración para las alternativas de siembra de manglar, restablecimiento de flujos hídricos hacia la ciénaga de Mallorquín, restablecimiento de flujos hídricos en canales secundarios y dragado de área de sedimentación (Figura 7-25).

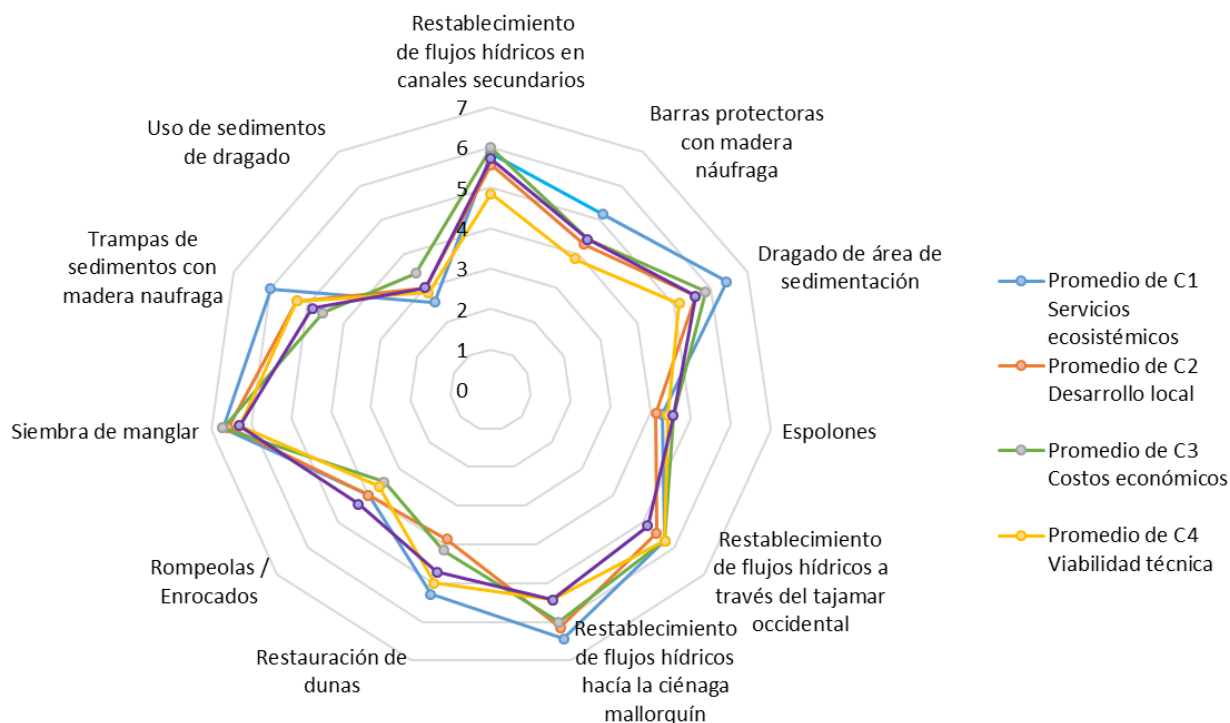


Figura 7-25. Valoración de las alternativas en el taller con comunidades.

Taller con expertos

El segundo taller se realizó el 14 de noviembre dirigido hacia expertos de entidades relacionadas con la temática, tales como la Corporación Autónoma Regional del Atlántico-CRA, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MINAMBIENTE, universidades y consultoras.

De acuerdo con las encuestas diligenciadas por los expertos, se identificó mayor variabilidad en las respuestas, con una mayor valoración para las alternativas de siembra de manglar, restablecimiento de flujos hídricos hacia la ciénaga de Mallorquín, restablecimiento de flujos hídricos en canales secundarios, seguidas de restauración de dunas y restablecimiento de flujos hídricos a través del tajamar occidental (Figura 7-26).

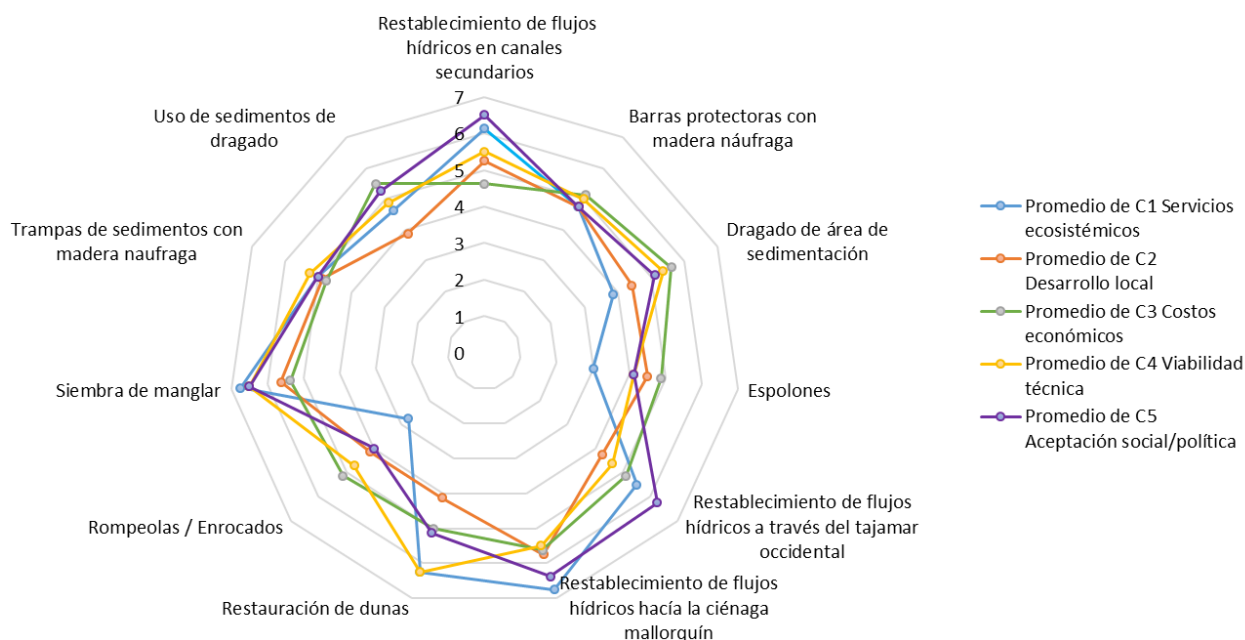


Figura 7-26. Valoración de las alternativas en el taller con expertos.

7.1.4.2. Criterios de Selección Mixtos (Técnicos y Comunitarios)

En la selección de criterios para la aplicación de una metodología multicriterio, se reconoce la importancia de considerar los procesos participativos, por esta razón partiendo de los criterios definidos inicialmente (C1: Servicios ecosistémicos, C2: Desarrollo local, C3: Costos económicos, C4: Viabilidad técnica, C5: Aceptación social/política), junto con la información aportada durante los talleres realizados con la comunidad y expertos externos, se procedió a la identificación y definición de sub-criterios y/o indicadores específicos.

Durante el diálogo con la comunidad surgieron dudas, inquietudes y consideraciones, relacionadas con la dinámicas ambientales y sociales, entre ellas:

- La alta sedimentación de La Barra evidenciada de manera progresiva en los últimos años.
- Preocupación sobre el área destinada como botadero de sedimentos asociada a la alternativa de dragado.
- La importancia de implementar una alternativa SbN y contar con un monitoreo posterior.
- La necesidad de realizar un diagnóstico que permita evaluar la creación de nuevos flujos de agua o caños, ante la escasez de agua dulce y la afectación del manglar.
- La posibilidad de aprovechar la madera naufragada como trampa de sedimentos.
- La gran cantidad de basura a lo largo de la línea de costa.

- Los rellenos realizados en el barrio La Salina, los cuales estarían generando inundaciones en épocas de lluvia.

Por su parte, el diálogo con los expertos temáticos permitió complementar la discusión con observaciones técnicas relacionadas con las condiciones ambientales de la ciénaga de Mallorquín y la gestión de la erosión costera, las cuales se describen a continuación:

- La necesidad de analizar la variación en la dinámica de la ciénaga Mallorquín mediante un monitoreo continuo e *in-situ*.
- Realizar el seguimiento del monitoreo y la eficacia de la siembra de manglar en la ciénaga, considerando su sustento técnico, la densidad de siembra, capacidad de carga y su pertinencia frente a los procesos de erosión costera, evitando limitarse únicamente a la plantación sin evaluar la tasa de éxito de estas intervenciones
- Considerar los periodos de retorno y los tiempos de regeneración de las alternativas SbN.
- Definir y evaluar escenarios de modelación que permitan comprender mejor la dinámica hidrosedimentaria y los posibles efectos de las intervenciones.
- Para la alternativa de restauración de dunas, considerar la alteración del paisaje y su afectación al turismo.
- Evaluar la calidad del agua de los flujos hídricos

En resumen, las observaciones y sugerencias realizadas por los actores involucrados, tanto en los espacios de dialogo como en el diligenciamiento de la encuesta, enfatizaron en la necesidad de incluir en los criterios de evaluación, elementos técnicos y socioambientales claves para el contexto costero del área de estudio. Permitiendo incorporar indicadores que responden directamente a la percepción local y que, incluyen aspectos socioambientales y fundamentos técnicos necesarios para la adecuada evaluación de alternativas y gestión de la erosión costera.

La propuesta resultante de los criterios de evaluación, con la integración de las observaciones de la comunidad, actores institucionales y expertos temáticos, se presenta en la Tabla 7-4.

Tabla 7-4. Propuesta para la integración de criterios.

<i>Criterio principal</i>	<i>Subcriterios</i>	<i>Indicador</i>
C1. Servicios ecosistémicos	Funcionalidad del manglar	Tasa de supervivencia de la siembra, área conservada/área recuperada
	Calidad del agua	Parámetros fisicoquímicos
C2. Desarrollo local	Impacto sobre actividades económicas	Cambios en el turismo y pesca

	Impacto paisajístico	Transformación dunar (tipo de cambio, entorno pasado y actual)
C3. Costos económicos	Costos de implementación	Costos de implementación
	Costos de monitoreo	Costos de mantenimiento y monitoreo
C4. Viabilidad técnica	Erosión	Evolución de erosión costera Evaluación de riesgo erosión
	Morfología	Elevación de la playa (DEM)
	Oleaje	Altura significativa máxima mensual
C5. Aceptación social/política	Aceptación de la comunidad a las alternativas	Encuesta

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El diagnóstico multiescalar de la dinámica costera evidenció que el litoral del Atlántico presenta una tendencia general a la erosión, con focos críticos en sectores como la Ciénaga de La Virgen, la desembocadura del arroyo León y tramos entre la Ciénaga de Mallorquín y Punta Sabanilla, mientras que zonas como Punta Puerto Velero y Morro Hermoso muestran procesos de acreción asociados al transporte litoral y a intervenciones antrópicas recientes. Esta heterogeneidad confirma que la erosión en el área de estudio no responde a un único factor, sino principalmente a la superposición de forzantes hidrodinámicos, cambios morfológicos de largo plazo inducidos por desarrollo de obras costeras e incremento de la presión urbana.
- La integración de información física, el estado del arte sobre criterios de evaluación de SbN y los aportes de los talleres permitió definir un esquema mixto de priorización de alternativas. El análisis multicriterio mostró mayor pertinencia de las opciones basadas en la recuperación de procesos ecosistémicos —siembra y manejo de manglar, restablecimiento de flujos hídricos hacia Mallorquín y restauración del sistema de dunas— frente a medidas convencionales, al combinar capacidad de mitigación de la erosión, generación de servicios ecosistémicos, apoyo al desarrollo local y alta aceptación social y política.
- El análisis sedimentológico evidenció un claro predominio de arena fina en las zonas supramareal y mesomareal, coherente con un transporte constante de sedimentos. La zona inframareal presentó mayor variabilidad granulométrica, con un control más

marcado de la energía del oleaje sobre la dinámica sedimentaria. Los parámetros estadísticos (selección moderada y curtosis mesocúrtica) y una mineralogía dominada por cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos, con minerales pesados secundarios, describen un sistema sedimentario relativamente estable, con aportes principalmente fluviales o estuarinos.

8. CARACTERIZAR LAS CORRIENTES MARINAS EN EL SECTOR DE PUERTO MOCHO (BARRANQUILLA) Y LA ENSENADA DE PUERTO VELERO (TUBARÁ).

Preparado por. *Lorenzo Portillo, Jesica Tatiana Sánchez y Constanza Ricaurte Villota.*

METODOLOGÍA

La caracterización de las corrientes marinas en las zonas costeras de Puerto Mocho y la Ensenada de Puerto Velero se realizó mediante un enfoque multidisciplinario que combina mediciones *in situ* y análisis de series temporales satelitales. Esta metodología permitió evaluar la dinámica oceanográfica local y su variabilidad espacial y temporal.

8.1.1. Mediciones *in situ*

Las campañas de campo se realizaron entre el 16 y el 21 de septiembre de 2025 (época de lluvias) y entre el 11 y 15 de noviembre (inicio de la temporada seca), con la finalidad de tener meses de condiciones climáticas contrastantes. La adquisición incluyó:

- Corrientes superficiales: Se realizó mediante el despliegue de una boya de deriva en varias posiciones dentro del área de estudio, con lances de 1 hora de duración. se realizaron.
- Perfiles de corrientes en la columna de agua: Se realizó el registro de corrientes durante dos horas, en cuatro estaciones fijas usando un perfilador acústico Doppler (ADCP) modelo Workhorse II Sentinel (Figura 8-1; Figura 8-2), en modo downface (mediciones desde la lancha).
- Medición de corrientes en transectos continuos: Se midieron corrientes a lo largo de siete transectos, distribuidos en la zona de estudio (Figura 8-1; Figura 8-2). en modo downface (mediciones desde la lancha).

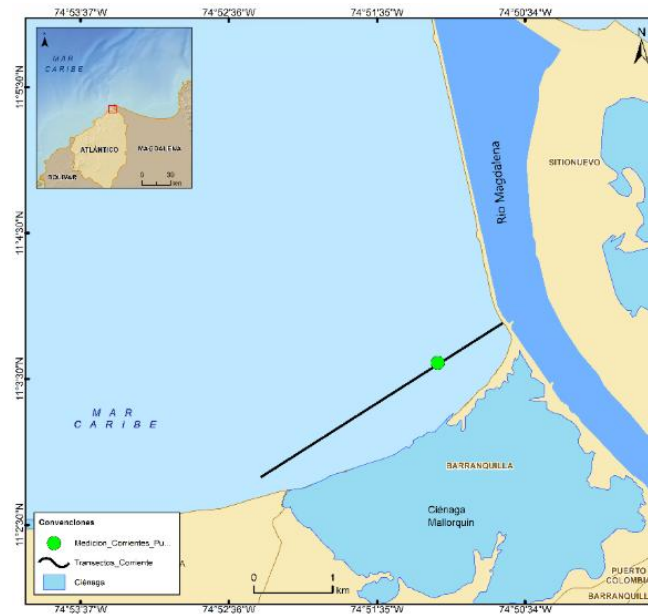


Figura 8-1. Mapa del área de estudio para la caracterización de las corrientes en Puerto Mocho. Los puntos verdes corresponden a mediciones puntuales, las líneas a los transectos

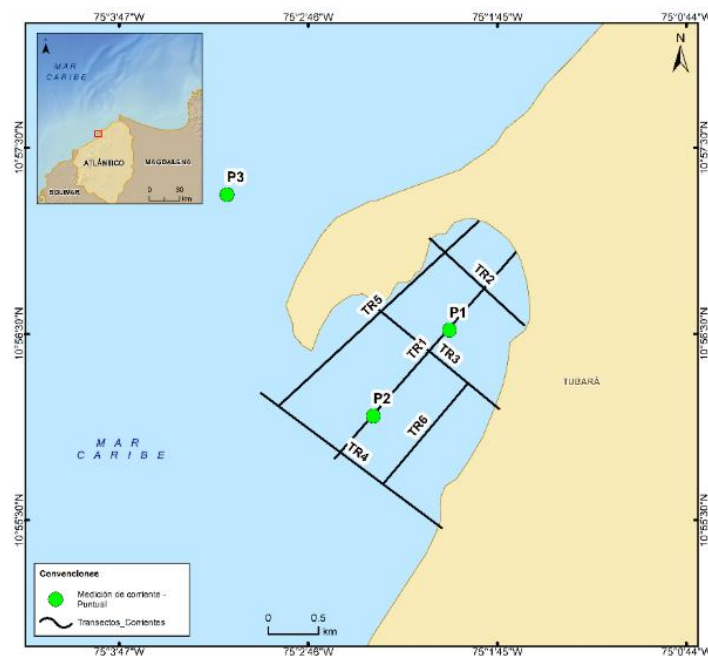


Figura 8-2 Mapa del área de estudio para la caracterización de las corrientes en Puerto Velero. Los puntos verdes corresponden a mediciones puntuales, las líneas a los transectos

8.1.2. Datos satelitales

Se complementaron las mediciones en campo con datos secundarios provenientes del programa Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS), que incluyen series de corrientes superficiales y variables oceanográficas. Los sets de datos utilizados fueron:

- cmems_mod_glo_phy_my_0.083deg_P1D-m (MY): Modelado diario de corrientes, periodo 1993–2021-06-30.
- cmems_mod_glo_phy_myint_0.083deg_P1D-m (MYINT): Modelado diario intermedio, periodo 2021-07-01 a 2022-05-31.
- cmems_mod_glo_phy_anfc_0.083deg_PT1H-m (ANFC): Datos de alta frecuencia (hora), desde 2022-06-01 hasta la fecha más reciente disponible.

Estos conjuntos de datos proporcionan una serie temporal continua de corrientes, fundamental para complementar las mediciones *in situ* y analizar patrones de variabilidad interanual y estacional.

Además, se utilizaron herramientas de Python (xarray, numpy, pandas, matplotlib, cartopy, scipy) para:

- Concatenar y homogeneizar series temporales de los sets de datos MY, MYINT y ANFC filtrados por fecha.
- Calcular magnitudes y direcciones de corrientes, extrayendo series representativas en nodos cercanos a Barranquilla y Puerto Velero.
- Generar climatología mensual espacial y visualizar vectores de velocidad.
- Analizar tendencias temporales.
- Realizar análisis estadístico mensual.

RESULTADOS

El análisis del conjunto de datos de Copernicus para el periodo 1993–2025 permitió caracterizar la circulación superficial media a escala regional en la Cuenca Caribe colombiana (Figura 8-3). Desde una perspectiva climatológica, la velocidad media de las corrientes en el área de estudio fue de 0,32 m/s, con un rango entre 0 y 0,55 m/s.

El ciclo anual refleja una marcada influencia de los vientos Alisios del Noreste y del desplazamiento meridional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Durante la temporada seca (diciembre–marzo), el fortalecimiento de los Alisios impulsa corrientes costeras intensas hacia el suroeste, alcanzando valores máximos entre diciembre y enero. Tras la transición en abril, la circulación se reorganiza y alcanza un segundo máximo en junio, el cual se

extiende hasta octubre asociado con la relajación del campo de vientos y el desplazamiento al norte de la ZCIT, favoreciendo flujos costeros al noreste. Estos patrones confirman la estacionalidad océano-atmosférica descrita previamente para el Caribe colombiano (Ricaurte-Villota y Bastidas, 2017).

A escala regional, la circulación superficial está dominada por la Corriente Sur-Ecuatorial, que fluye de este a oeste desde el Océano Atlántico y, al ingresar al Caribe a través de las Antillas Menores, se convierte en la Corriente del Caribe ([Andrade, 2001](#); [Brown et al., 2001](#); [Andrade, 2015](#); [Correa-Ramírez et al., 2020](#)). Esta corriente se intensifica en el extremo norte de Colombia y, a comienzos del año, alcanza no solo el departamento del Magdalena, sino también sectores oceánicos frente al departamento del Atlántico, donde los vientos alisios fortalecidos refuerzan su desplazamiento hacia el oeste.

De forma complementaria, la Contracorriente Panamá-Colombia aparece en el golfo del Darién, con circulación anticiclónica que puede extenderse hacia la costa norte de Colombia. Esta contracorriente presenta una marcada variabilidad estacional: es débil durante la época seca ($<0,1$ m/s en zonas costeras) y se intensifica en la época húmeda con el desplazamiento sur de la ZCIT, alcanzando en ocasiones la península de La Guajira ([Murcia-Riaño et al., 2017](#); [Orfila et al., 2021](#)). Esta la podemos identificar como una corriente costera en dirección noreste evidente entre el periodo de junio a octubre.

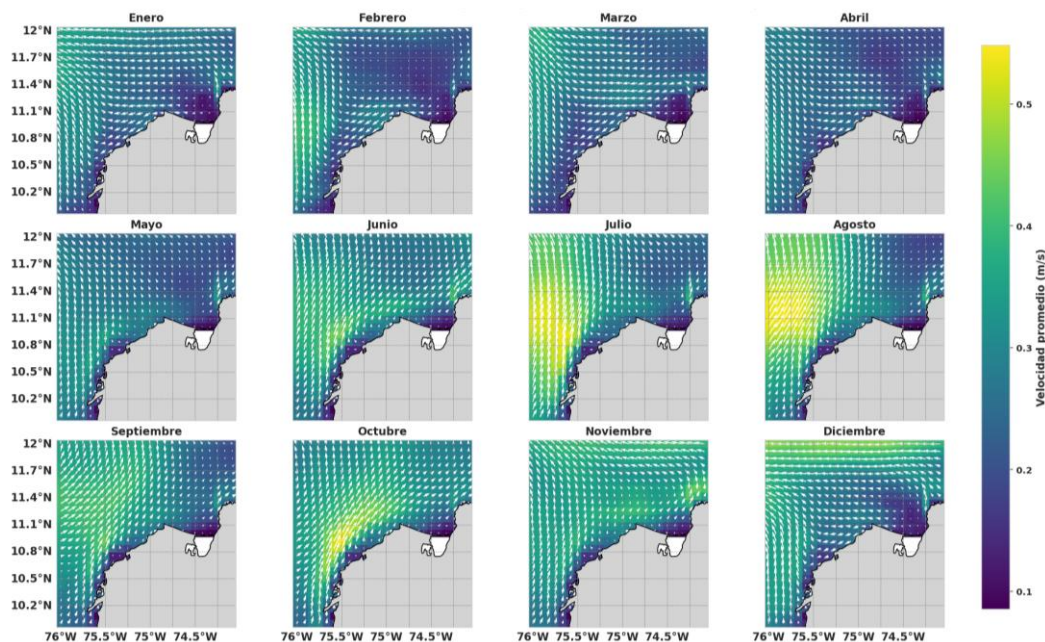


Figura 8-3 Climatología regional de las corrientes marinas en la Cuenca Caribe colombiana entre las latitudes 10° y 12° y las longitudes -74° y -76°, obtenidas del programa Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).

Al realizar un acercamiento a la escala departamental (Figura 8-4), la dinámica del Atlántico está determinada por la advección de agua proveniente de la Corriente del Caribe, que fluye de este a oeste y mantiene una influencia persistente en la plataforma continental del departamento entre diciembre y abril. Esta corriente transporta masas de agua de manera predominante hacia el oeste, pero su intensidad y dirección presentan modulación estacional asociada a los cambios en el patrón de vientos. Además, aunque en el departamento del Atlántico la Contracorriente Panamá-Colombia no se manifiesta con la misma intensidad que en sectores más al sur, su presencia se identifica con el cambio en la circulación entre mayo y noviembre que fluye en del suroeste al noreste con máximos en el mes de octubre.

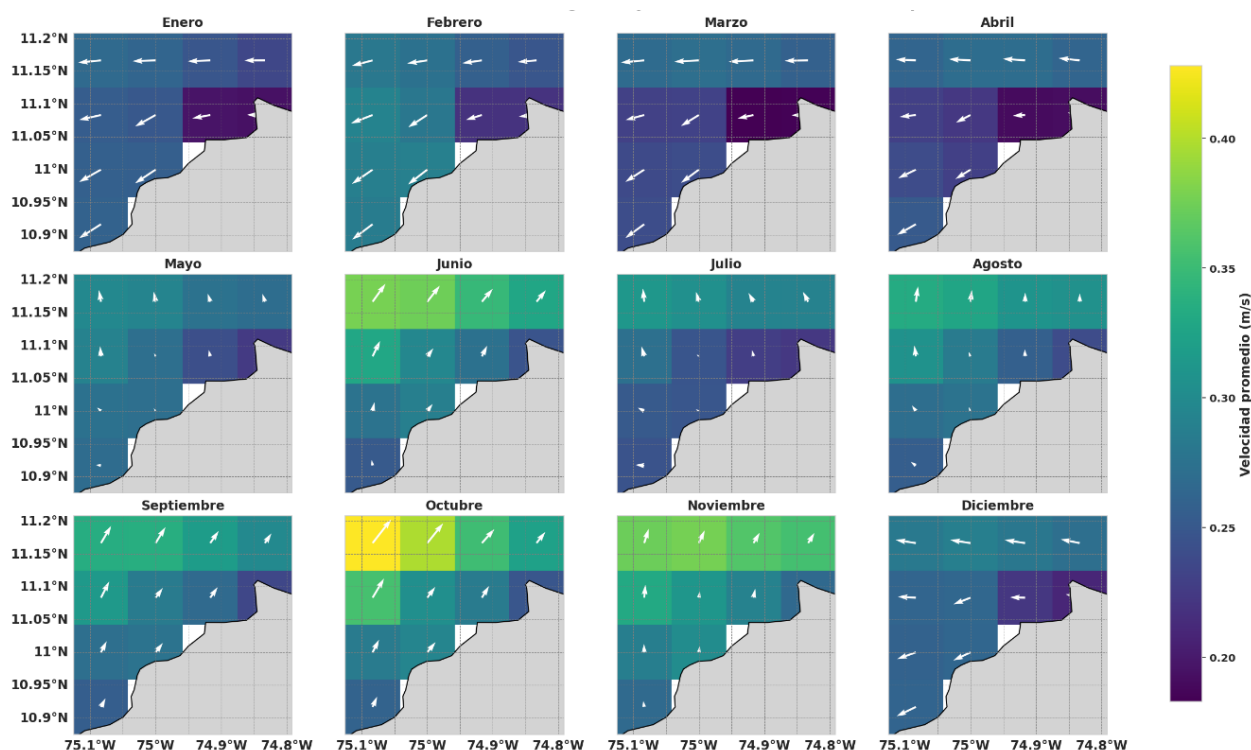


Figura 8-4 Climatología a escala del departamento del Atlántico de las corrientes marinas entre las latitudes 10.8° y 11.2° y las longitudes -74.8° y -75.2°, obtenidas del programa Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).

Del conjunto de datos generado se extrajo la serie de tiempo de magnitud y dirección de las corrientes marinas para el nodo cercano a Barranquilla (11.08, -74.83) y a Puerto Velero (11.02, -75.09) (Figura 8-5). El análisis estadístico reveló una alta variabilidad mensual, con valores promedio que oscilaron entre aproximadamente 0,14 y 0,46 m/s, siendo mayores los valores observados en Puerto Velero. En ambos casos se identificó una tendencia decreciente en la magnitud de las corrientes, con pendientes de $-0,0001$ m/s (Puerto Velero) y $-0,0002$ m/s

(Barranquilla) por mes, equivalentes a una tasa de desaceleración de aproximadamente 0,12 y 0,24 cm/s por año, respectivamente.

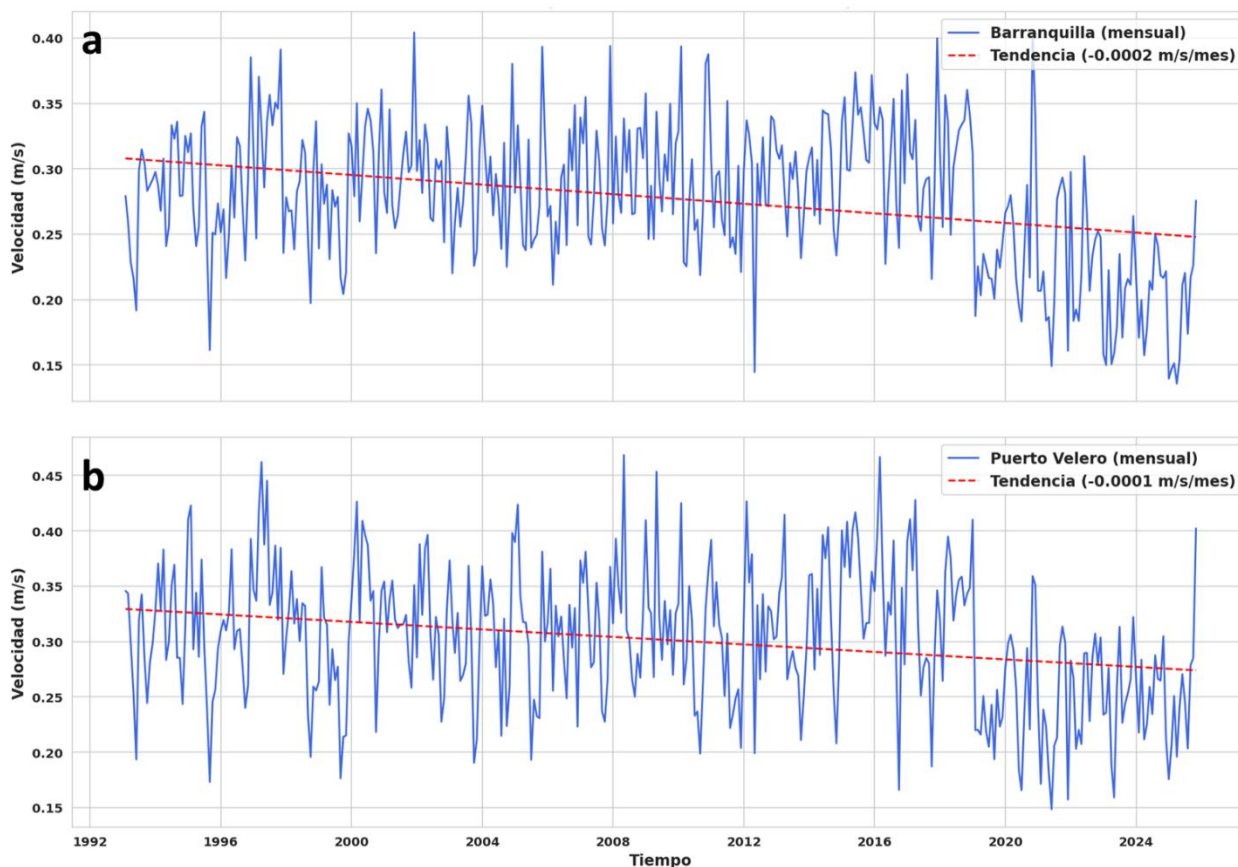


Figura 8-5 Serie de tiempo mensual de magnitud de las corrientes marinas y línea de tendencia para el nodo cercano a Barranquilla (11.08, -74.83) (a); y a Puerto Velero (11.02, -75.09) (b), en el periodo (1993 – 2025).

A partir de la extracción de las series de tiempo se calcularon los estadísticos descriptivos para cada nodo, lo que permitió caracterizar mes a mes la dirección y magnitud de las corrientes cercanas a Barranquilla y Puerto Velero (Figura 8-6 y Figura 8-7). El nodo frente a Barranquilla mostró condiciones relativamente más calmadas en comparación con Puerto Velero, con diferencias cercanas a una décima (0.1 m/s) durante los meses de mayor dinamismo. En ambos casos, la frecuencia más alta de valores extremos ($>0,6$ m/s) se registró entre octubre y noviembre, coincidiendo con la época húmeda y la influencia de la Contra corriente Panamá-Colombia. Cabe resaltar que, debido a su posición geográfica, el nodo de Puerto Velero se encuentra más expuesto a la influencia oceánica, lo que explica las magnitudes más intensas respecto a Barranquilla. Por el contrario, los meses de menor dinamismo fueron marzo y abril, coincidiendo con la transición de la época seca a la húmeda en la Cuenca Caribe.

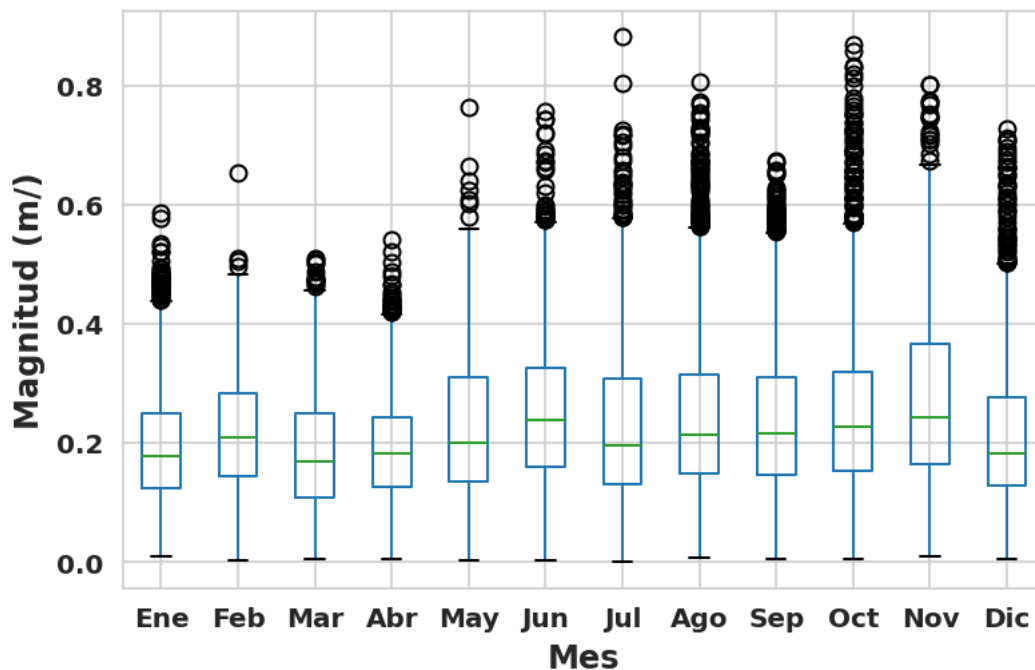


Figura 8-6 Gráfico de caja y bigotes de la magnitud de las corrientes marinas mensuales para el nodo cercano a Barranquilla (11.08, -74.83) en el periodo (1993 – 2025).

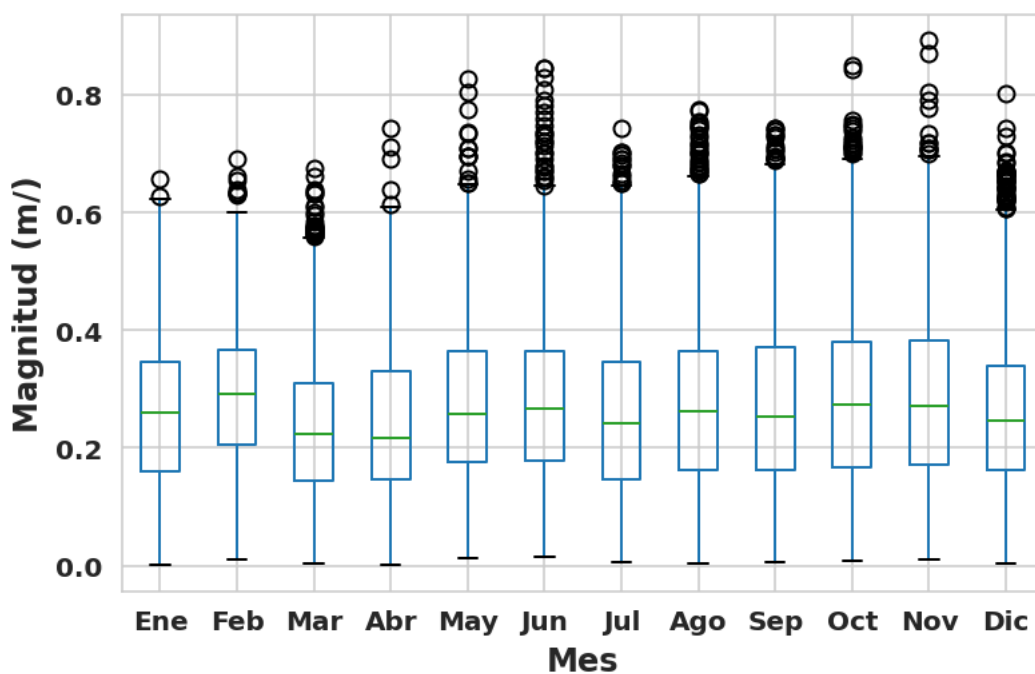


Figura 8-7 Gráfico de caja y bigotes de la magnitud de las corrientes marinas mensuales para el nodo cercano a Puerto Velero (11.02, -75.09) en el periodo (1993 – 2025).

El patrón direccional de las corrientes mostró una tendencia bimodal en ambos nodos (Figura 8-8 y Figura 8-9). Entre diciembre y abril, la intensificación de los vientos Alisios del noreste forzó un predominio de corrientes superficiales dirigidas hacia el sur, con mayor frecuencia en rangos de magnitud entre 0,3 y 0,45 m/s y máximos hacia el suroeste, mientras que los aportes de flujo hacia el norte fueron mínimos. En contraste, entre mayo y noviembre, coincidiendo con el desplazamiento al norte de la ZCIT y la consecuente debilitación/rotación del campo de vientos Alisios, el patrón se invirtió, observándose una dominancia de corrientes hacia el norte, con valores superiores a 0,7 m/s entre septiembre y noviembre. Durante el periodo de transición de julio-agosto, asociado al veranillo de San Juan, se registró un repunte de velocidades hacia el sur, con frecuencias similares a las observadas a comienzos de año, aunque con máximos dirigidos hacia el noreste. Este comportamiento sugiere que la señal atmosférica del veranillo no se transfiere completamente al campo de corrientes, como ocurre durante la estación seca con los Alisios ([Royero, 2013](#)).

Para cada lance de la boya de deriva al interior de los sitios de interés (Figura 8-10), se pudo identificar la distancia recorrida, la velocidad promedio y la dirección de la boya ([Anexo 13](#)). Estas mediciones complementaron la información secundaria desde bases de datos globales.

En Puerto Mocho, los resultados evidenciaron un comportamiento característico de un cuerpo de agua semi-cerrado con influencia mareal, cuyo funcionamiento se ve modificado por la presencia o ausencia de la espiga que conforma la laguna costera. Como se observa en las imágenes satelitales (Figura 8-10 a y b), la morfología de la espiga varía según la época climática debido a procesos físicos como el oleaje, el viento, las descargas fluviales y los aportes sedimentarios. Estos cambios, a su vez, alteran la hidrodinámica costera del área.

En septiembre, la barra se encontraba emergida y se identificó la presencia de un canal que intensificó las corrientes en la apertura de la espiga, generando simultáneamente zonas de corrientes más lentas en cercanías de la playa de Puerto Mocho. Lo contrario ocurrió en noviembre, cuando la barra permaneció sumergida, lo cual produjo zonas menos profundas, pero permitió trayectorias más extensas de la boya de deriva.

Durante septiembre, el mayor recorrido se registró en la zona de intercambio de agua entre la Ciénaga de Mallorquín y el sector de Puerto Mocho (Figura 8-10 a). En noviembre, en cambio, las trayectorias más largas ocurrieron en el sector de apertura de la laguna (Figura 8-10 b). En ambos meses, las trayectorias máximas coincidieron con los momentos de marea alta.

La marea desempeñó un papel fundamental en la circulación costera de Puerto Mocho, ya que reguló los patrones de intercambio de agua entre la laguna costera, la Ciénaga de Mallorquín y el mar Caribe, a pesar de tener una amplitud de ~30 cm. Los ciclos de pleamar y bajamar controlaron la intensidad y dirección de las corrientes, favoreciendo el ingreso de agua hacia la laguna durante la marea alta y su posterior retorno durante la marea baja.

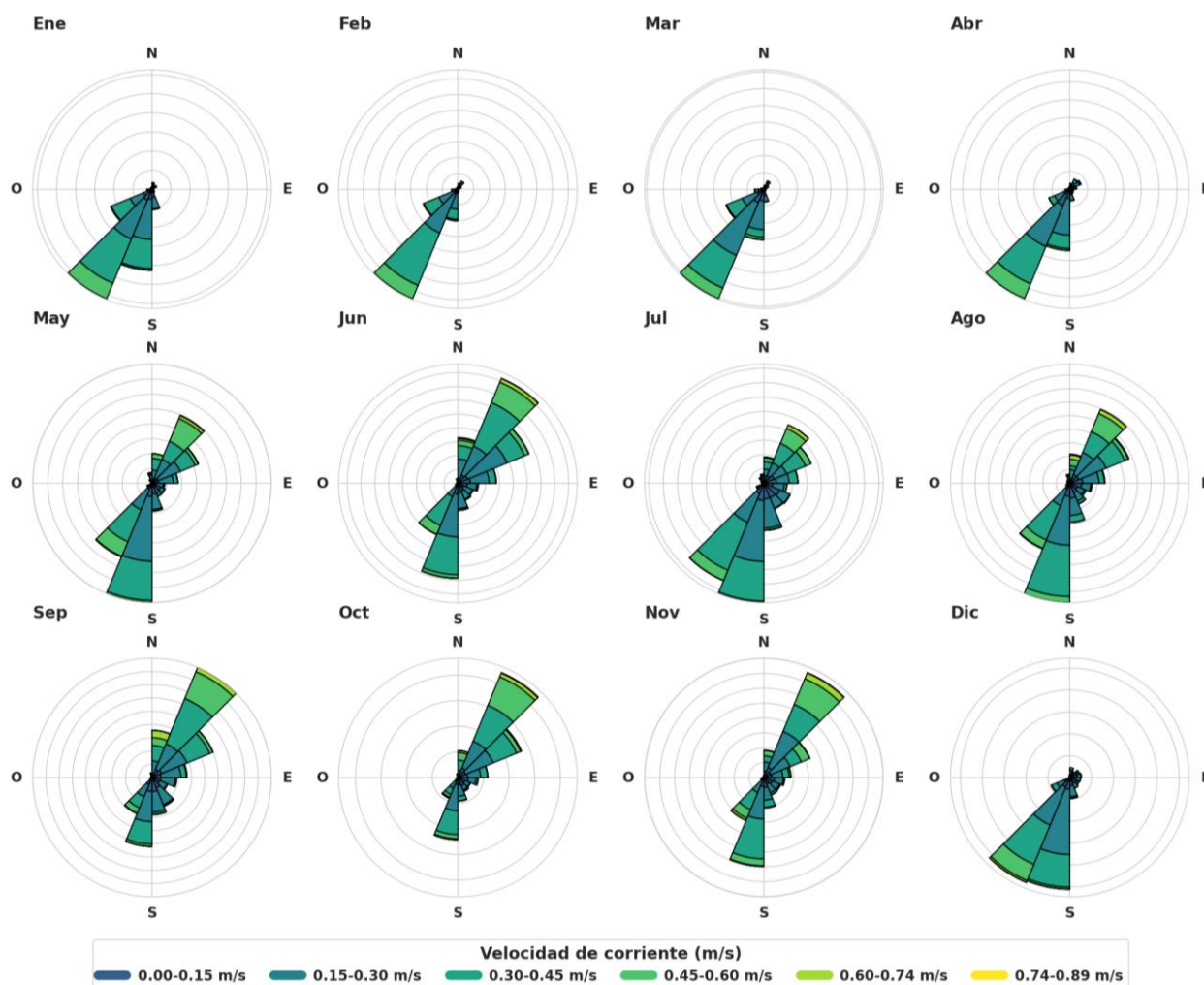


Figura 8-8 Climatología de la dirección de las corrientes marinas para el nodo cercano a Puerto Velero (11.02, -75.09) en el periodo (1993 – 2025).

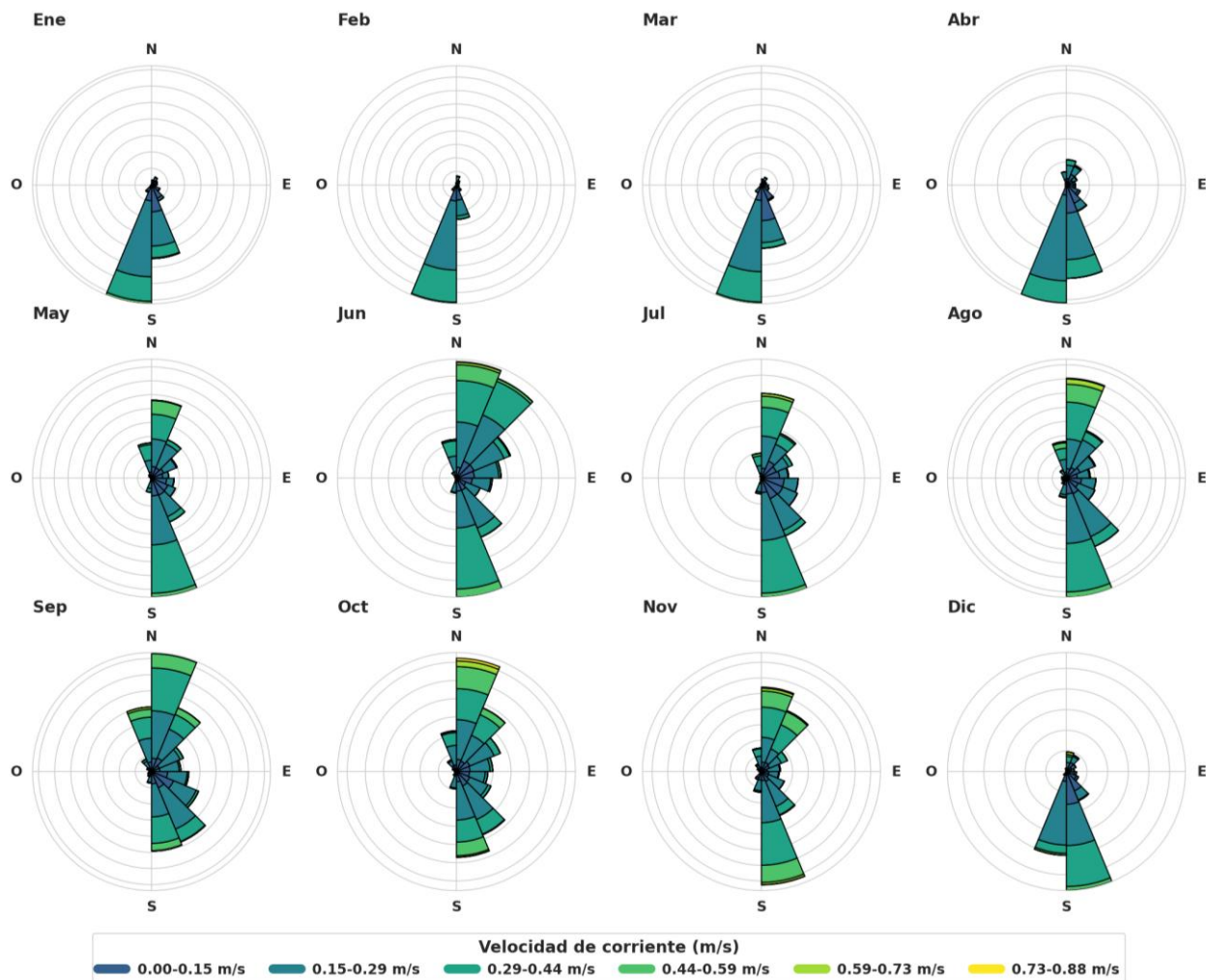


Figura 8-9 Climatología de la dirección de las corrientes marinas para el nodo cercano a Barranquilla (11.08, -74.83) en el periodo (1993 – 2025).

En Puerto Velero, debido a su apertura hacia el sur, se identificaron patrones hidrodinámicos característicos de bahías (Figura 8-10 c y d), con corrientes más intensas orientadas hacia el sur (0,07–0,08 m/s) y trayectorias bien definidas en los lances realizados ([Anexo 13](#)). En contraste, al interior de la bahía los recorridos fueron más erráticos, con velocidades menores y trayectorias menos claras, condicionadas principalmente por la acción del viento. Durante los intercambios de marea, los lances permanecieron relativamente estables dentro de la bahía y mostraron una mayor influencia mareal en la zona de apertura, lo que pone en evidencia el papel de la morfología costera en la modulación de la circulación local.

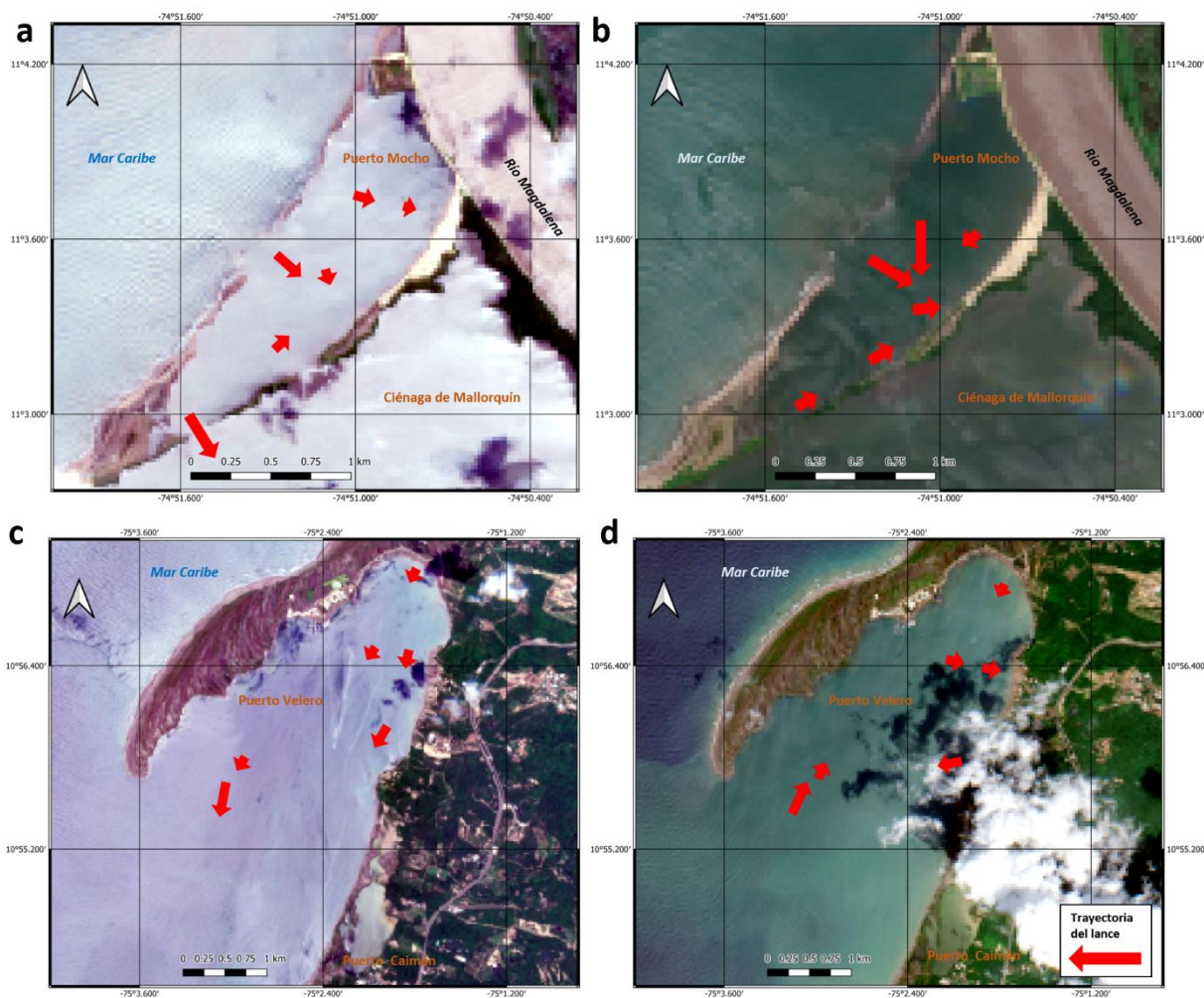


Figura 8-10 Ubicación y trayectoria de los lances de la boya de deriva en: Puerto Mocho (septiembre) (a) y en (noviembre) (b) y Puerto Velero (septiembre) (c) y en (noviembre) (d).

Una visión más completa de la hidrodinámica local, además de los lances de boya de deriva, se obtuvo con las mediciones de manera puntual y en transeptos con el ADCP, lo que permitió analizar la estructura vertical de las corrientes y su variabilidad temporal, en cada localidad.

Las mediciones con ADCP en movimiento en Puerto Mocho se realizaron el 17 de septiembre y el 12 de noviembre, cubriendo un transepto paralelo a la línea de costa. El recorrido T1 se efectuó en dirección este-oeste, desde la carretera de ingreso a Bocas de Ceniza hasta la entrada de la Ciénaga de Mallorquín, mientras que en T2 se procuró seguir el mismo trayecto en sentido contrario (Figura 8-11). Ambas mediciones se efectuaron antes de las 09:00 a. m. y tuvieron una duración menor a dos horas, por lo que los datos abarcan una fracción pequeña del ciclo mareal.

Los resultados del primer periodo se presentan en la Figura 8-12 y los del segundo, en la Figura 8-13.



Figura 8-11. Ubicación y recorridos de los transeptos T1 y T2 en Puerto Mocho, Barranquilla. Los puntos azules indican la trayectoria de las mediciones con ADCP en movimiento, y las flechas muestran la dirección general de cada recorrido.

Los resultados de la primera campaña, especialmente en el transepto T1, mostraron mayor variabilidad vertical en ambas componentes de la corriente. Aunque la dirección cambió a lo largo de la columna de agua, la componente v mantuvo una clara tendencia hacia el sur. Los flujos mostraron direcciones hacia el sureste en gran parte de la sección. Por el contrario, la zona en dirección hacia la ciénaga mostró corrientes hacia el suroeste.

En contraste, en T2 se identificó un comportamiento más definido: u se orientó hacia el oeste en la parte inicial del recorrido con velocidades no menores a 0.1 m/s, particularmente en el sector próximo a la Ciénaga de Mallorquín, y al avanzar el trayecto se desvió hacia el este alcanzando valores de hasta 0.05 m/s. Por su parte, v permaneció consistentemente dirigida al sur. En conjunto, los flujos con orientación oeste tendieron hacia el suroeste, mientras que aquellos con componente este, mostraron una inclinación predominante hacia el sureste.

Por su parte, en la segunda campaña también se observó una mayor variabilidad direccional en el transepto T1. En contraste, en T2 la componente u mostró una tendencia más definida hacia el este con valores de hasta 0.1 m/s, mientras que v permaneció orientada principalmente hacia

el sur, lo que en conjunto resultó en un flujo predominante hacia el sureste. Este comportamiento sugirió una configuración más estable del campo de corrientes durante las segundas mediciones, especialmente en T2. Además, la persistencia hacia el sur en v durante ambas campañas, sumada al reforzamiento en dirección este en la segunda, podría indicar la influencia de forzamientos locales (como el régimen de vientos o la interacción con la circulación costera inducida por la marea).

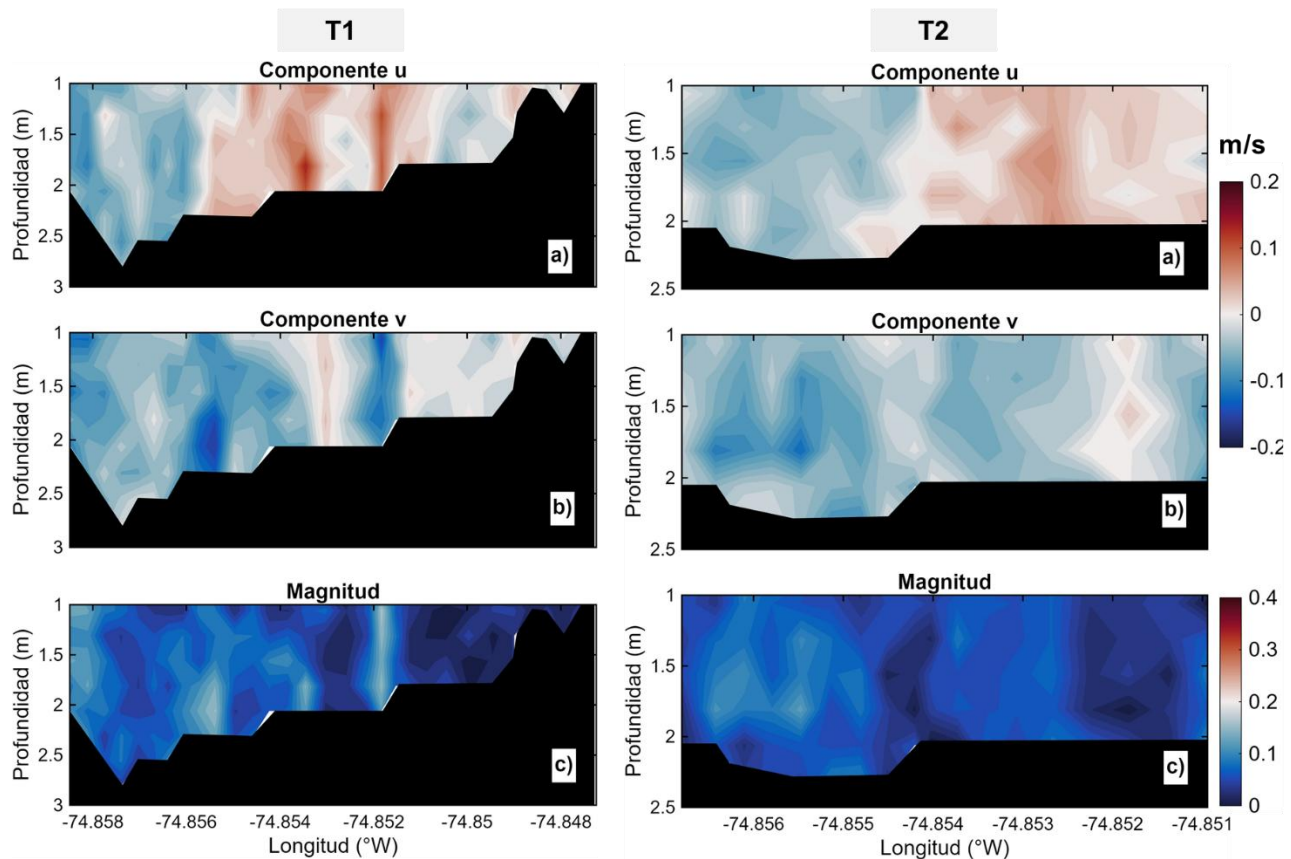


Figura 8-12. Distribución vertical de la velocidad para los dos transeptos (T1-T2) medidos en Puerto Mocho (Barranquilla) durante el día 17 de septiembre. Para cada transepto se muestran: a) la componente zonal (u), b) la componente meridional (v) y c) la magnitud de la corriente. Los colores representan la intensidad de cada componente (m/s), mientras que el fondo negro indica la topografía del fondo a lo largo de cada sección longitudinal.

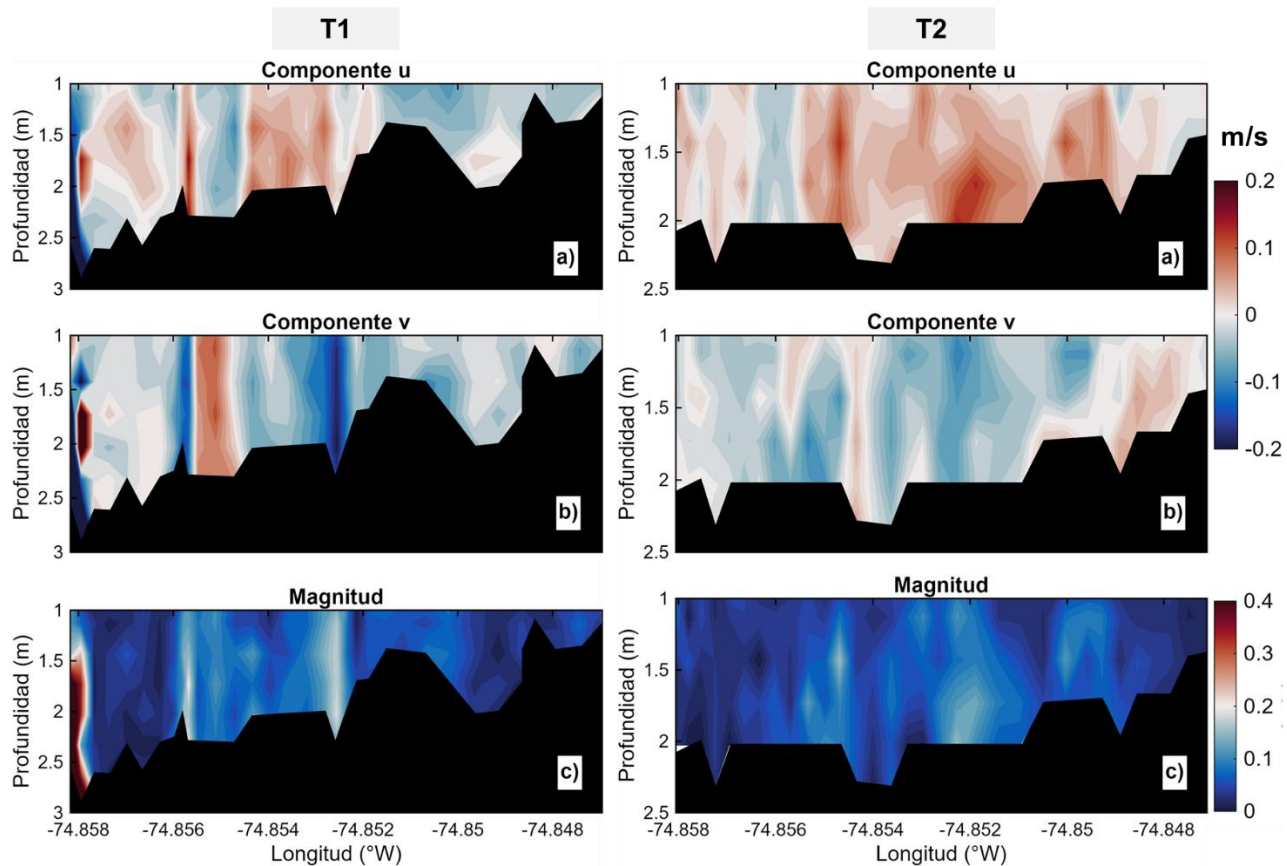


Figura 8-13. Distribución vertical de la velocidad para los dos transeptos (T1-T2) medidos en Puerto Mocho (Barranquilla) durante el día 12 de noviembre. Para cada transepto se muestran: a) la componente zonal (u), b) la componente meridional (v) y c) la magnitud de la corriente. Los colores representan la intensidad de cada componente (m/s), mientras que el fondo negro indica la topografía del fondo a lo largo de cada sección longitudinal.

Además de los transeptos, las mediciones puntuales realizadas en la boca de Puerto Mocho evidenciaron diferencias marcadas entre los dos periodos de observación. En la Figura 8-14 se presentan los resultados correspondientes a cada fecha, los paneles a y c muestran la dirección de la corriente a partir del promedio vertical y temporal, mientras que los paneles b y d ilustran la magnitud en toda la estructura vertical.

Durante el 17 de septiembre, la corriente presentó valores promedio a 0.03 m/s, con direcciones variables y sin un patrón dominante. De manera coherente, las velocidades en la columna de agua se mantuvieron bajas (hasta los 2 m), con máximos de 0.18 m/s y hasta 0.25 m/s y sin señales de intensificación vertical. En contraste, el 11 de noviembre se registró un fortalecimiento claro del flujo, con magnitudes promedio cercanas a 0.25 m/s y una dirección definida hacia el noroeste, mientras que la estructura vertical mostró núcleos de mayor energía

(0.3 - 0.5 m/s) en distintos momentos del registro, particularmente alrededor de las 10:48 a.m. y nuevamente entre las 11:16 y 11:30 a.m.

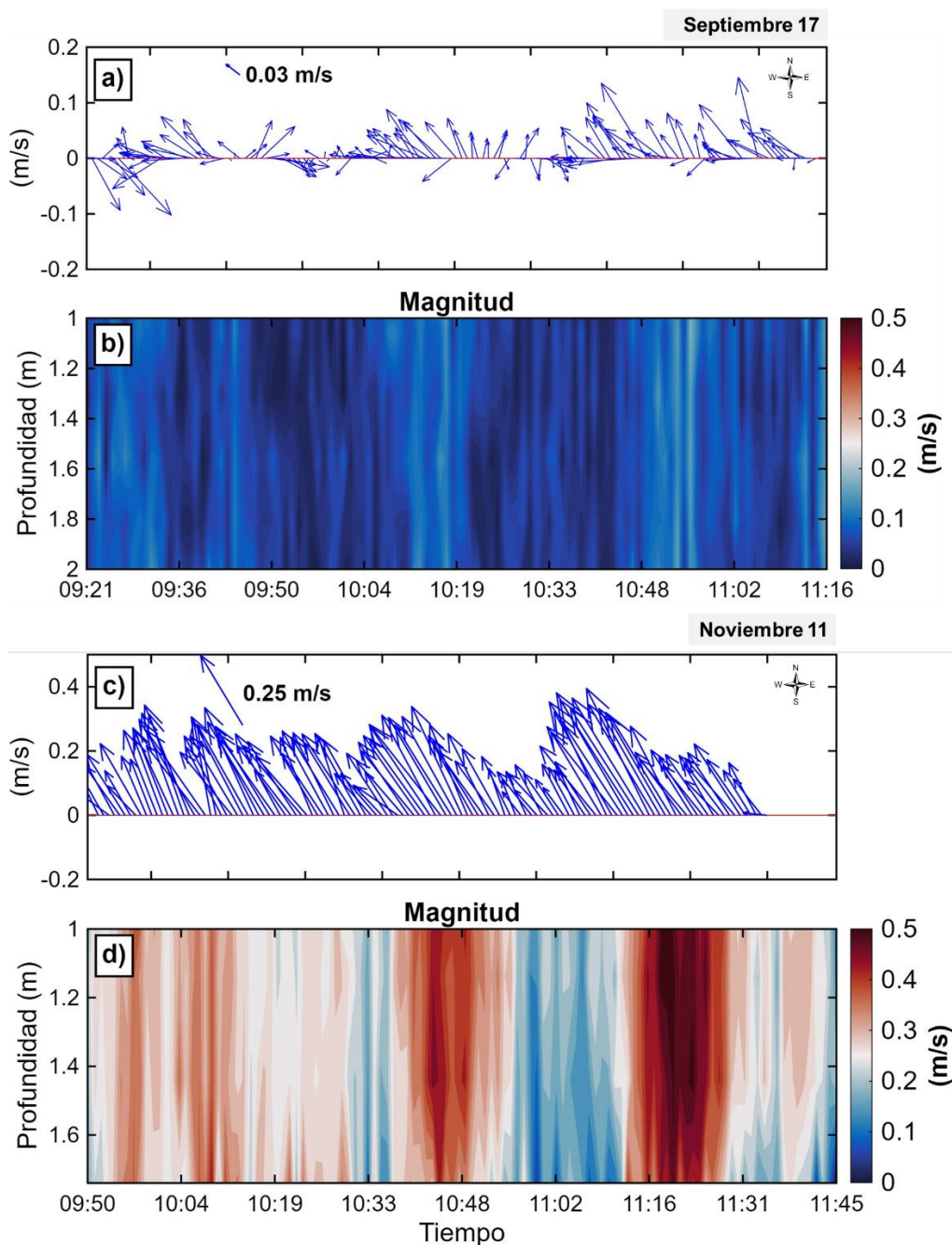


Figura 8-14. Serie temporal de la dirección y la magnitud de la corriente en la boca (entrada o salida hacia el mar) en el sector de Puerto Mocho (Barranquilla) para dos periodos de medición. a-b) Datos correspondientes al 17 de septiembre, donde se presentan las direcciones promedio en la columna de agua y la variación vertical de la magnitud. c-d) Descripción igual que en a-b, pero para el 11 de noviembre.

En Puerto Velero, las mediciones con ADCP en movimiento se realizaron mediante seis transeptos: tres (T1 – T3) efectuados entre las cabañas de Puerto Velero y las boyas de señalización en la entrada de la bahía (y viceversa), y tres perpendiculares a estos primeros, tal como se muestra en la Figura 8-15. La primera serie de recorridos se efectuó el 19 de septiembre y la segunda el 14 de noviembre. Durante ambas campañas se cubrieron horarios entre las 7:00 y las 11:00 am. Las observaciones correspondientes a cada campaña se presentan en las Figura 8-16 y Figura 8-17.

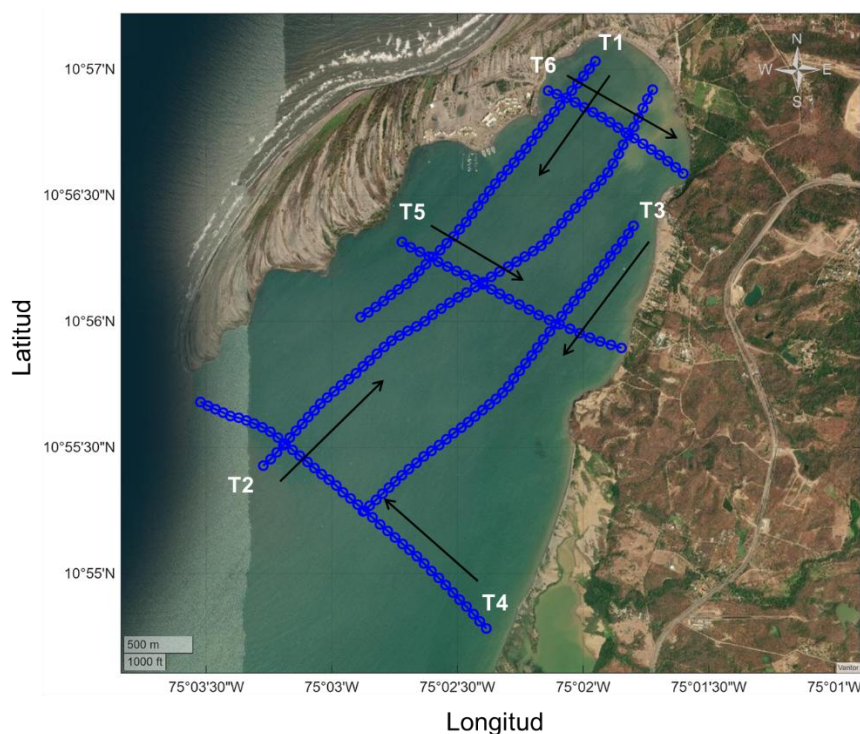


Figura 8-15. Ubicación y recorridos de los transeptos T1-T6 en Puerto Velero, Barranquilla. Los puntos azules indican la trayectoria de las mediciones con ADCP en movimiento, y las flechas muestran la dirección general de cada recorrido.

En los primeros tres recorridos (T1 - T3), que corresponden al periodo inicial, la componente u mostró cambios moderados entre sectores, con núcleos aislados de flujo hacia el oeste en T3, en los tramos cercanos al inicio del canal, además de áreas con inversión hacia el este, especialmente en T2. Por su parte, v exhibió un comportamiento más uniforme, predominando los desplazamientos hacia el sur. En la zona externa del canal, próxima a la conexión con el mar en Puerto Velero, se observaron direcciones orientadas al norte, asociadas al intercambio de agua con el océano. La magnitud de la corriente en estos transeptos fue en general baja (<0.05

m/s), alcanzando valores puntuales de hasta 0.15 m/s, lo que indicó un sistema controlado por variaciones locales de baja energía.

En contraste, los transeptos T4 - T6 mostraron un fortalecimiento más evidente del flujo. En T4, la componente u presentó un marcado desplazamiento hacia el oeste en el sector inicial, mientras que en T5 y T6 se registró una inversión bien definida hacia el este en los tramos medio y final. De forma simultánea, la componente v se intensificó, con direcciones predominantes al norte en T4, al sur en T5 y nuevamente al norte en T6. Este incremento en la dinámica también se aprecia en la magnitud, donde los transeptos alcanzan valores más elevados (>0.2 m/s) y exhibieron zonas de energía concentrada, especialmente hacia el sector occidental.

En cuanto a los resultados de la segunda campaña, las corrientes en el transepto T1 se orientaron predominantemente hacia el suroeste desde la superficie cubriendo gran parte de la columna de agua, mientras que en profundidad se identificó un núcleo dirigido al noreste, desde la zona inicial hasta la central. En T2, el flujo predominó hacia el noreste, excepto en la capa más superficial, que mostraron influencia hacia el suroeste. Por su parte, en T3 se observó un patrón general hacia el suroeste, aunque algunas secciones profundas presentaron direcciones opuestas, orientadas al noreste.

Los transeptos perpendiculares (T4 - T6) evidenciaron coherencia con los patrones previamente descritos. En T4, que abarcó la zona externa de la entrada, se registró entrada de agua hacia el norte con corrientes dirigidas al interior de la bahía a profundidades mayores a 4 m, mientras que la salida ocurrió al sur, cerca del sector de Puerto Caimán. En T5 se mantuvo este patrón, observándose flujo saliente hacia el sur en las capas superficiales y entrada en profundidad junto al costado de la marina. De manera similar, T6 presentó un comportamiento análogo. Cabe señalar que estos transeptos se realizaron durante horas que cubrieron parcialmente el ciclo de marea baja, lo que podría haber influido en la predominancia de los flujos salientes registrados.

Las observaciones de las corrientes durante el 20 de septiembre, medidas a las afueras de Puerto Velero, en el punto denominado P3, mostraron velocidades promedio de 0.17 m/s, con variabilidad direccional, aunque con una tendencia dominante hacia el noreste (Figura 8-18 a). En contraste, se observó un régimen más débil y estable. Las velocidades promedio (Figura 8-18 c) se mantuvieron alrededor de 0.15 m/s, con direcciones predominantes hacia el suroeste. Estas diferencias coinciden con el hecho de que las mediciones se realizaron durante fases mareales distintas (marea subiendo en septiembre y bajando en noviembre), condición que podría haber influido parcialmente en las variaciones observadas en la intensidad y dirección del flujo.

En cuanto a la estructura vertical, la columna de agua mostró un núcleo de mayor energía concentrado entre los 2 y los 8 m, con velocidades que alcanzaron entre 0.35 y 0.40 m/s, especialmente alrededor de las 07:12 am. En contraste, el 13 de noviembre (Figura 8 18 d) la distribución vertical presentó un patrón más homogéneo, sin núcleos energéticos equivalentes a los observados en septiembre. Las velocidades se mantuvieron predominantemente por debajo de 0.20 m/s entre los 2 y 10 m de profundidad.

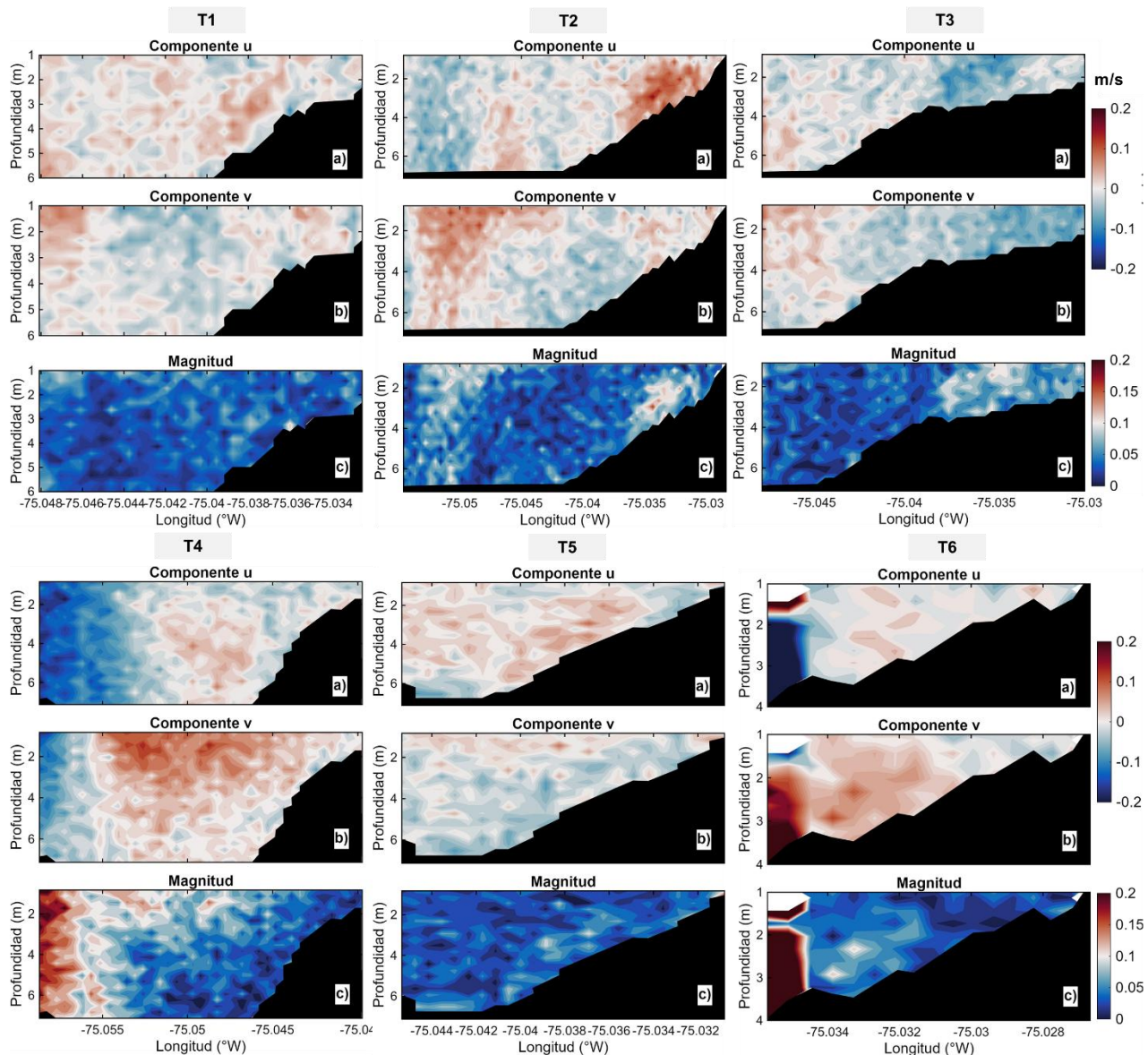


Figura 8-16. Distribución vertical de la velocidad para los seis transeptos (T1-T6) medidos en Puerto Velero (Barranquilla) durante el día 19 de septiembre. Para cada transepto se muestran: a) la componente zonal (u), b) la componente meridional (v) y c) la magnitud de la corriente. Los colores representan la intensidad de cada

componente (m/s), mientras que el fondo negro indica la topografía del fondo a lo largo de cada sección longitudinal.

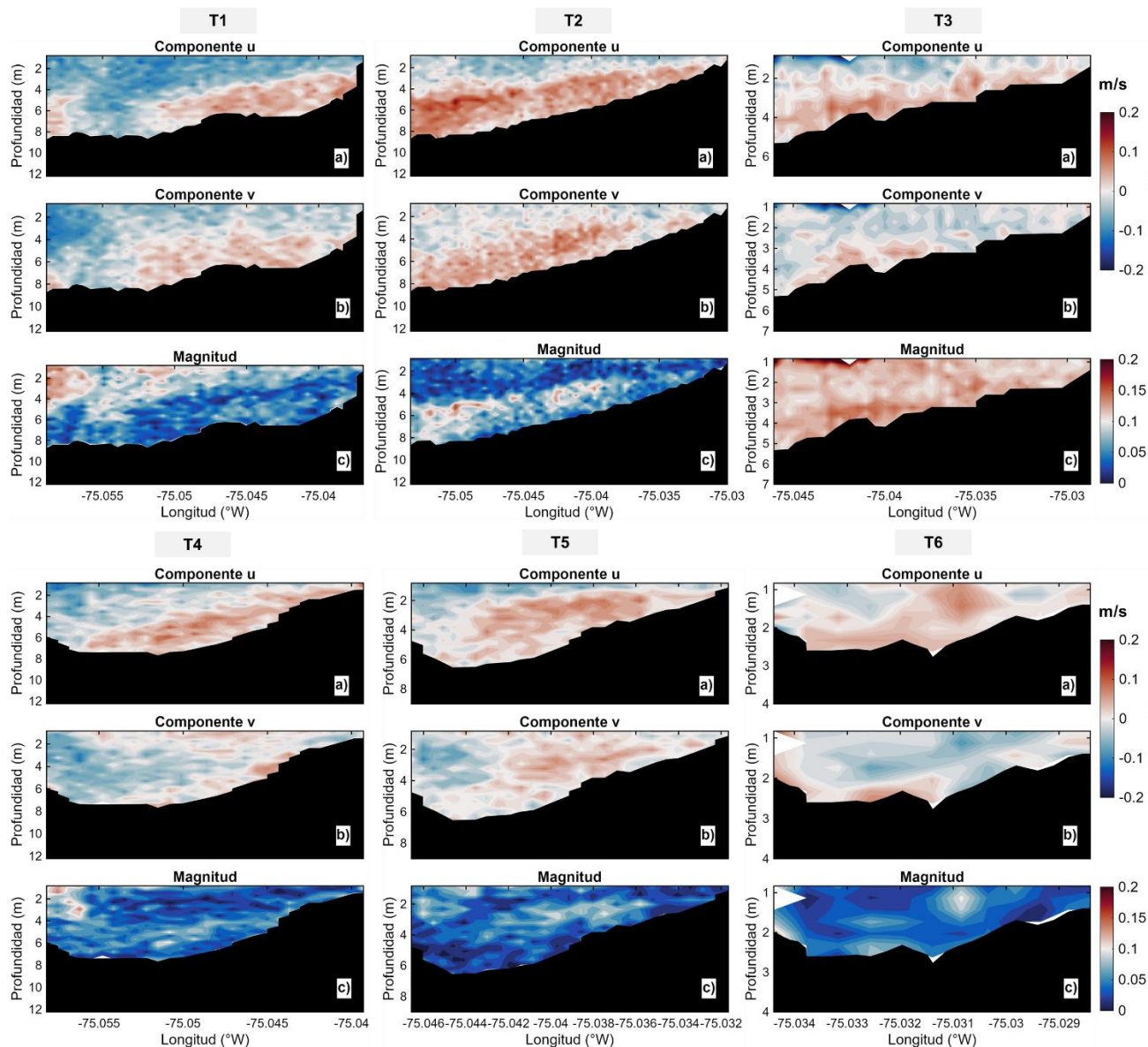


Figura 8-17. Distribución vertical de la velocidad para los seis transectos (T1-T6) medidos en Puerto Velero (Barranquilla) durante el día 14 de noviembre. Para cada transecto se muestran: a) la componente zonal (u), b) la componente meridional (v) y c) la magnitud de la corriente. Los colores representan la intensidad de cada componente (m/s), mientras que el fondo negro indica la topografía del fondo a lo largo de cada sección longitudinal.

Hacia la parte interna de Puerto Velero, los puntos P2 y P1 (ubicados en la boca y en el interior de la ensenada, respectivamente (Figura 8-19 y Figura 8-20) mostraron una señal de corrientes caracterizada por una alta variabilidad tanto direccional como en magnitud durante ambos periodos de medición. En ambos casos, las velocidades exhibieron pulsos alternados de aceleración y debilitamiento del flujo, reflejando posiblemente la respuesta local a las condiciones mareales y a la configuración geomorfológica.

Dentro de este patrón general, el punto P1 mostró las fluctuaciones más débiles durante el 13 de noviembre. En este sitio, las direcciones cambiaron de manera progresiva, observándose que el flujo inició hacia el sureste y, a medida que avanzó la medición giró gradualmente hasta orientarse hacia el suroeste y sur al final del registro. Esta transición direccional, junto con la menor variabilidad en la magnitud, sugirió un comportamiento más estable del flujo dentro de la zona interna de la ensenada

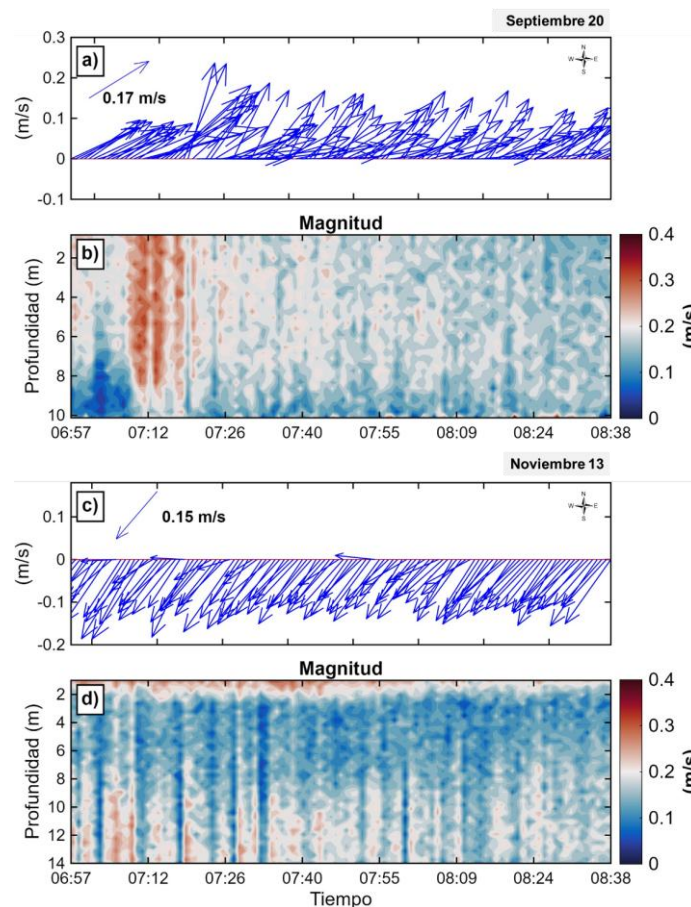


Figura 8-18. Serie temporal de la dirección y la magnitud de la corriente a las afueras de Puerto Velero (Barranquilla) en el punto P3 para dos periodos de medición. a-b) Datos correspondientes al 20 de septiembre, donde se presentan las direcciones promedio en la columna de agua y la variación vertical de la magnitud. c-d) Descripción igual que en a-b, pero para el 13 de noviembre.

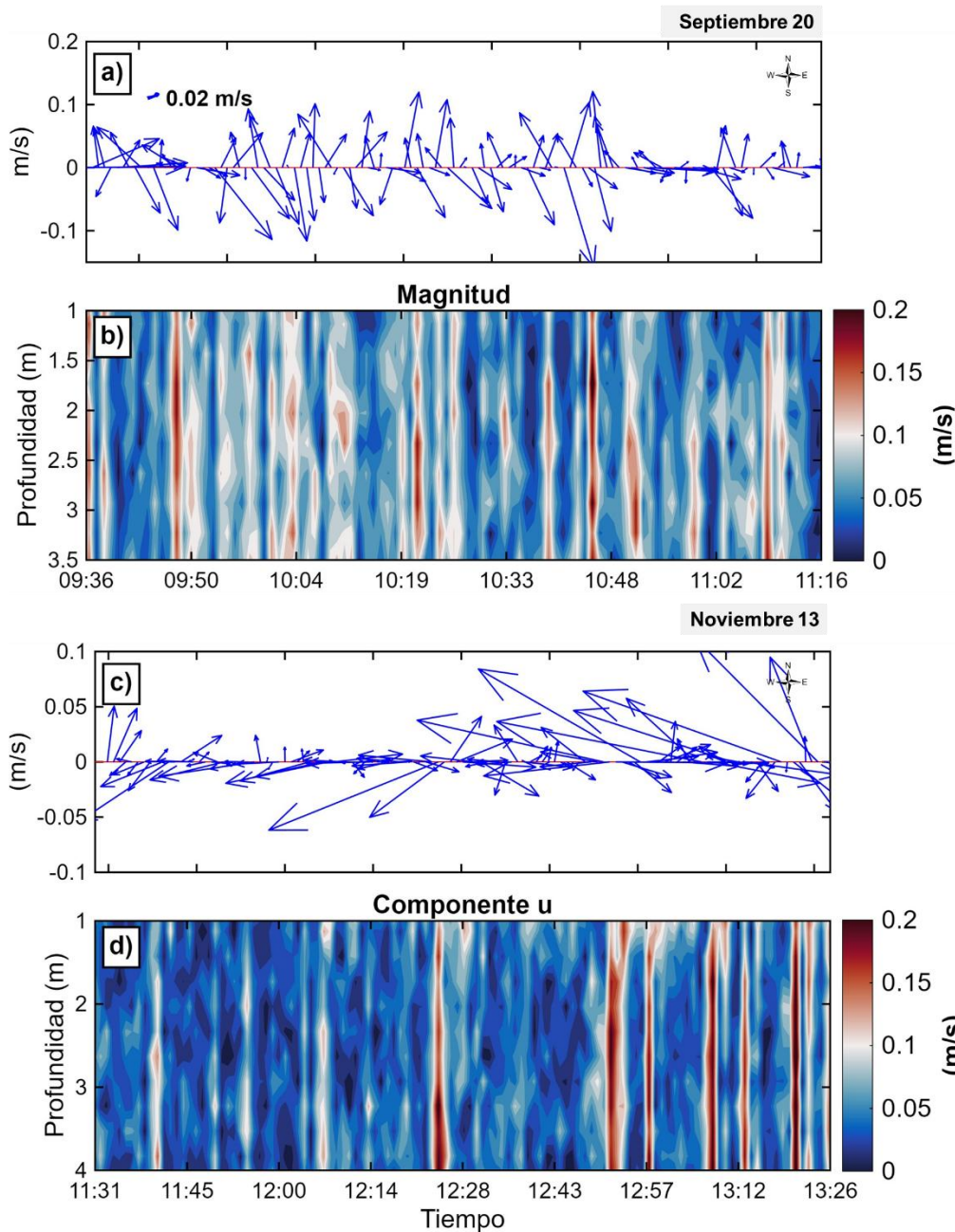


Figura 8-19. Serie temporal de la dirección y la magnitud de la corriente al interior de Puerto Velero (Barranquilla) para dos periodos de medición en el punto P2. a-b) Datos correspondientes al 20 de septiembre, donde se presentan las direcciones promedio en la columna de agua y la variación vertical de la magnitud. c-d) Descripción igual que en a-b, pero para el 13 de noviembre.

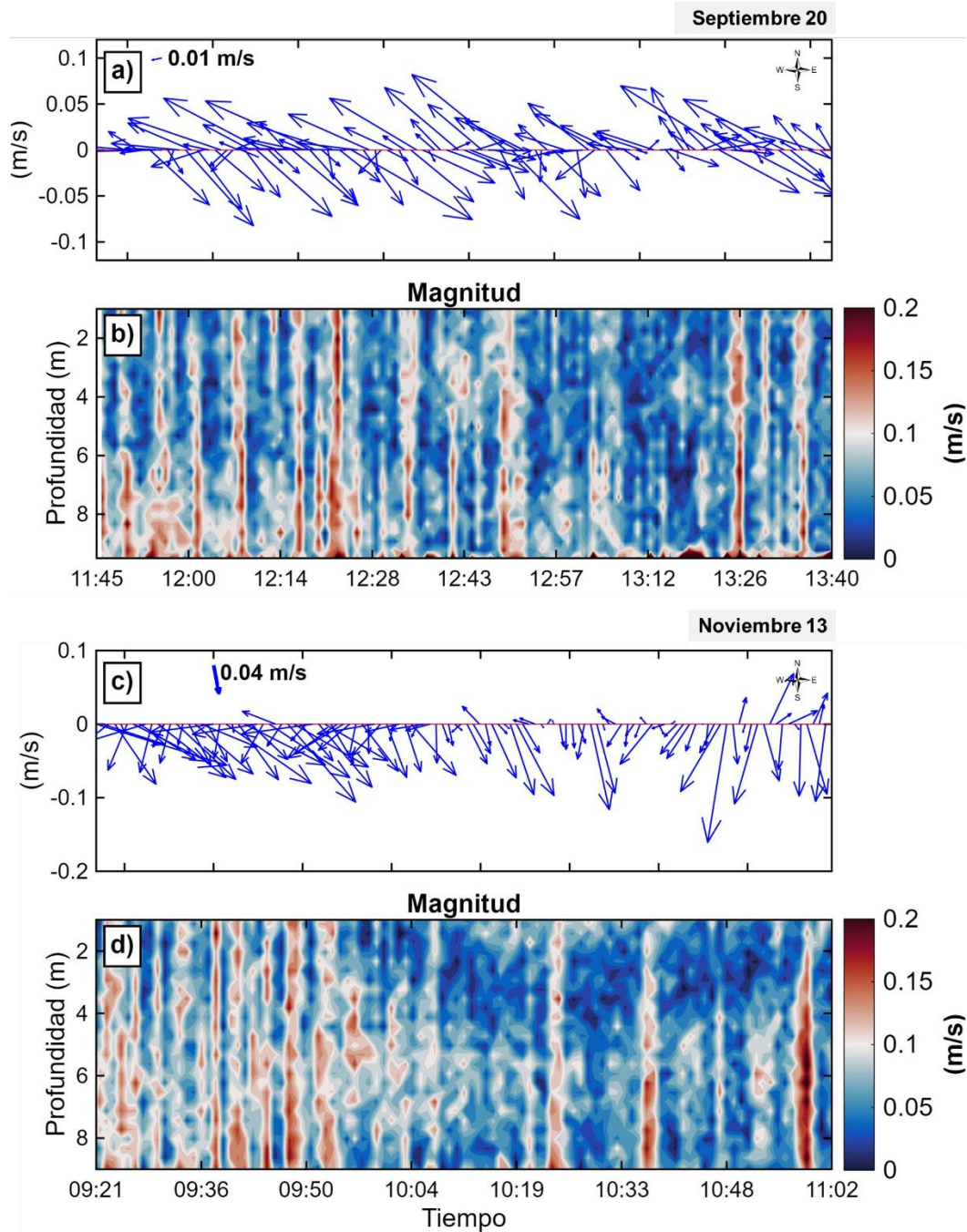


Figura 8-20. Serie temporal de la dirección y la magnitud de la corriente al interior de Puerto Velero (Barranquilla) para dos periodos de medición en el punto P1. a-b) Datos correspondientes al 20 de septiembre, donde se presentan las direcciones promedio en la columna de agua y la variación vertical de la magnitud. c-d) Descripción igual que en a-b, pero para el 13 de noviembre.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis conjunto de los datos satelitales de Copernicus y las mediciones locales evidencia que la dinámica de corrientes en el Caribe colombiano está dominada por la Corriente del Caribe y modulada estacionalmente por los vientos Alisios del noreste, lo que mantiene direcciones predominantes hacia el sur-suroeste en el sector costero. A escala local, en el departamento del Atlántico y particularmente en los casos de estudio (Puerto Mocho y Puerto Velero), el flujo de circulación está fuertemente condicionado por la morfología, el grado de apertura de las bahías y la marea. En Puerto Mocho se observó un flujo predominante hacia el sur-sureste, con variabilidad asociada a la topografía y a los pulsos mareales, como se evidenció con los cambios en la intensidad del flujo derivados de la dinámica de la espiga que conforma la laguna costera. En Puerto Velero, los patrones fueron consistentes con los de una bahía semicerrada, con trayectorias bien definidas y mayor energía en la zona de apertura, junto con variabilidad inducida por el viento y el intercambio mareal en superficie y profundidad al interior de la bahía.

En conjunto, los resultados muestran que, aunque estos sistemas son de baja energía, presentan una circulación altamente sensible a las condiciones locales, la morfología y principalmente al estado mareal.

9. 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.
- Adema, C. M. (2021). Sticky problems: Extraction of nucleic acids from molluscs. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 376(1825), 20200162. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0162>
- Adem-Esmail, B., & Geneletti, D. (2018). Multi-criteria decision analysis for nature conservation: A review of 20 years of applications. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(1), 42-53.
- Alonso Hernández, C.M., Barrientos, E.E., Carrasco Palma, D., Costa Muniz, M., DíazJaramillo, M., González, M., Helguera Pedraza, Y., Lozoya Azcárate, J.P., Obando-Madera, P.S., Ontiveros Cuadras, J.F., Purca Cuicapusa, S., Ramírez Álvarez, N., Ríos Mendoza, L.M., RuizFernández, A.C., y Saldarriaga-Vélez, J.F. (2024). Determinación de la abundancia de microplásticos en arenas de playa. Red de Investigación de Estrésos Marinos - Costeros en Latinoamérica y El Caribe – REMARCO. 18 pp. <https://remarco.org/manual-de-procedimientos-tecnicos-contaminacion-por-microplasticos/>
- Alpala, J. A. (2025). Visor Multianual para huella de agua con Sentinel-1 (2015–actualidad). Aplicación web en Google Earth Engine. <https://ee-jorgealpala.projects.earthengine.app/view/visor-multianual-agua-con-sentinel-1-2015actualidad>
- Andrade, C. A. (2001). Las corrientes superficiales en la cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 25(96), 321-336.
- Andrade, C. A. (2015). OCEANOGRAFÍA DINÁMICA DE LA CUENCA DE COLOMBIA. Cartagena de indias: Alpha Editores. ISBN: 978-958-99964-7-8
- APHA, AWWA, WEF (2023). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23ª edición. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, D.C., EE. UU. (Referencia general para los métodos 3111-B y 3130 B).

- 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.
- Bauer, J. E., Cai, W.-J., Raymond, P. A., Bianchi, T. S., Hopkinson, C. S., & Regnier, P. A. (2020). The changing carbon cycle of the coastal ocean. *Nature*, 588, 70–76.
- Bejarano, F. T., Rodelo, R. C., Solano, B. D., Lozano, J. M. M., & 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 C., Gómez M., Sanchez-Cabeza J.A., Cartas H., Herrera J., Ruiz G., And Hernández Ayón M. 2021a. Determinación de alcalinidad total en agua de mar utilizando dispensador manual. Método de titulación en celda abierta. Red de Investigación de Estresores Marinos - Costeros en Latinoamérica y El Caribe – REMARCO. Santa Marta, Colombia. 9 pp. <https://remarco.org/manual-ao/>
- Bernal C., Sanchez-Cabeza J.A., Martínez-Galarza, R.A., Gómez M., & Norzagaray-López, O. 2021b. Determinación de carbono inorgánico disuelto en agua de mar utilizando analizador automático con detección infrarrojo - AIRICA. Red de Investigación de Estresores Marinos - Costeros en Latinoamérica y El Caribe – REMARCO. Santa Marta, Colombia. 18 pp. <https://remarco.org/manual-ao/>
- Blanco-Muñoz, E., A. De La Parra-Guerra. C. García-Alzate y E. Villareal-Blanco. 2020. Análisis físico-químico y fitoplanctónico de la ciénaga Puerto Caimán, vertiente Caribe, Colombia. *Intropica*. 15(2): 114-125. <https://doi.org/10.21676/23897864.3650>
- Blanco-Muñoz, E., A. De La Parra-Guerra. C. García-Alzate y E. Villareal-Blanco. 2020. Análisis físico-químico y fitoplanctónico de la ciénaga Puerto Caimán, vertiente Caribe, Colombia. *Intropica*. 15(2): 114-125. <https://doi.org/10.21676/23897864.3650>
- Blott, S.J. and Pye, K. (2001) Gradistat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237-1248. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.261>
- Boyer, F., Mercier, C., Bonin, A., Le Bras, Y., Taberlet, P. and Coissac, E. (2016), obitools: a unix-inspired software package for DNA metabarcoding. *Mol Ecol Resour*, 16: 176-182. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12428>.
- Broullón, D., Pérez, F. F., Velo Lanchas, A., Hoppema, M., Olsen, A., Takahashi, T., ... & Kozyr, A. (2020). A global monthly climatology of oceanic total dissolved inorganic carbon: A neural network approach. *Earth System Science Data Discussions*, 2020, 1-30.

- Brown, E., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., & Wright, J. (2001). Ocean Circulation second edition. Butterworth-Heinemann: Elsevier Ltd.
- Buchman, M. 2008. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-1. Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. Seattle, 34 p.
- Cai, W. J., Xu, Y. Y., Feely, R. A., Wanninkhof, R., Jönsson, B., Alin, S. R., ... & Gledhill, D. K. (2020). Controls on surface water carbonate chemistry along North American ocean margins. *Nature Communications*, 11(1), 2691.
- 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.
- Carroll, D., Menemenlis, D., Dutkiewicz, S., Lauderdale, J. M., Adkins, J. F., Bowman, K. W., ... & Zhang, H. (2022). Attribution of space-time variability in global-ocean dissolved inorganic carbon. *Global Biogeochemical Cycles*, 36(3), e2021GB007162.
- Castillo Fadda, L. (2024). Análisis Multicriterio para la toma de decisiones en medidas de adaptación al cambio climático en el litoral de Tarragona (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Castro, G. G., Ayón, J. M. H., Lara, J. R. L., Ávalos, R. S., & Morales, J. A. C. 2017. Importancia del intercambio y reservorios de carbono en los mares y costas mexicanas. *Elementos para Políticas*, 13.
- Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J.H., Abu-Omar, M., Scott, S.L., Suh, S., 2020. Degradation rates of plastics in the environment. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 8, 3494–3511. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., y 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. 187p.

- Correa-Ramirez, M., Rodriguez-Santana, Á., Ricaurte-Villota, C., & Paramo, J. (2020). The Southern Caribbean upwelling system off Colombia: Water masses and mixing processes. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 155, 103145.
- Delaigue, L., Reichart, G. J., Qiu, L., Achterberg, E. P., Ourradi, Y., Galley, C., ... & Humphreys, M. P. (2025). From small-scale variability to mesoscale stability in surface ocean pH: implications for air-sea CO₂ equilibration. *Biogeosciences*, 22(18), 5103-5121.
- Delorme, A.E., Lebreton, L., Royer, S.-J., Kāne, K., Arhant, M., Le Gall, M., Le Gac, P.-Y., 2025. Assessing plastic brittleness to understand secondary microplastic formation on beaches: a hotspot for weathered marine plastics. *Microplastics and Nanoplastics* 5, 25. <https://doi.org/10.1186/s43591-025-00128-7>
- DIMAR. (2019). Zonificación y ordenamiento de playas y áreas marítimas en el Atlántico. Recuperado el 11 de diciembre de 2025, tomado de: <https://www.dimar.mil.co/print/pdf/node/3233>
- DNP (2024). Guía con lineamientos y orientaciones para gestionar fenómenos asociados a la variabilidad climática a partir de soluciones basadas en la naturaleza (SbN). Versión 1. Bogotá D.C., Colombia.
- Doney, S. C., Tilbrook, B., Roy, S., Metzl, N., Le Quéré, C., Hood, M., ... & Bakker, D. (2009). Surface-ocean CO₂ variability and vulnerability. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(8-10), 504-511.
- Doyle, J. J., y Doyle, J. L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19, 11–15.
- Dumitru, A., & Wendling, L. (2021). Evaluating the impact of nature-based solutions: A handbook for practitioners. European Commission EC.
- Durack, P. J., & Wijffels, S. (2024). Global ocean salinity change and freshwater cycle amplification. *Biogeosciences*, 21, 4621–4645
- Emery, K. O. (1961). A simple method of measuring beach profiles. *Limnology and Oceanography*, 6(1), 90–93. <https://doi.org/10.4319/LO.1961.6.1.0090>
- EPA (1996)b. Method 3540C: Soxhlet Extraction. Environmental Protection Agency. Washington, D.C., EE. UU.
- EPA (1998). Method 9071B: n-Hexane Extractable Material (HEM) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM) in Water and Wastewaters. Environmental Protection Agency. Washington, D.C., EE. UU.

- EPA (2007). Method 7473: Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry. Environmental Protection Agency. Washington, D.C., EE. UU.
- EPA (2014). Method 8270D: Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS). Environmental Protection Agency. Washington, D.C., EE. UU.
- EPA. (1996)a. Method 3510C: Separatory Funnel Liquid-Liquid Extraction. En: Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods (SW-846) (Update III). Washington, D.C.: Office of Solid Waste.
- EPA. (1996)c. Method 3620C: Florisil Cleanup. En: Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods (SW-846) (Update III). Washington, D.C.: Office of Solid Waste.
- EPA. (2018). Method 8270E: Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS). Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods (SW-846). Revision 5. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Espinosa-Díaz, L.F., Y.T. Zapata-Rey. K. Ibarra-Gutiérrez y C.A. Bernal. 2021. Spatial and temporal changes of dissolved oxygen in waters of the Pajarales complex, Ciénaga Grande de Santa Marta: Two decades of monitoring. *Science of The Total Environment*. 785. 147203. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147203>
- Fabry, V. J., B. A. Seibel, R. A. Feely and J. C. Orr. (2008). Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science* 65: 414–432.
- FEE - Foundation for Environmental Education. 2023. Guía de interpretación de los criterios Bandera Azul para playas 2023. Copenhagen: FEE. 103p.
- Feely, R., Doney, S. and Cooley, S. (2009). Ocean Acidification: Present Conditions and Future Changes in a High-CO₂ World”, *Oceanography*, 22(4), pp. 36–47.
- Folk, R. L. and Ward, W. C. 1957. Brazos River bar [Texas]; A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1). <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865>.
- Folk, R.L. (1974) *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Co., Austin, 170 p.
- Fondo Nacional de Turismo – Fontur. 2024. *Fontur y Gobernación del Atlántico fortalecen el desarrollo turístico en el Departamento*. Fontur. <https://fontur.com.co/es/comunicados/fontur-y-gobernacion-del-atlantico-fortalecen-el-desarrollo-turistico-en-el>

- Gallo-Vélez, D., J.C. Restrepo y A. Newton. 2022. A socio-ecological assessment of land-based contamination and pollution: The Magdalena delta, Colombia. *Frontiers in Marine Science*. 9: 1057426. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1057426>
- 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., Costa Muniz M., Salles-Pereira L., Meigikos dos Anjos R., 2021. Abundance, distribution, and characteristics of microplastics in coastal surface waters of the Colombian Caribbean and Pacific. *Environ Sci Pollut Resear*, 28 p. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13723-x>
- Gattuso, J.-P., & Hansson, L. (2011). *Ocean Acidification*. Oxford University Press. Describe que el pH superficial está fuertemente mediado por las mismas variables: intercambio de CO₂, producción primaria y respiración, con la capacidad buffer del sistema carbonato amortiguando los cambios.
- Gazeau, F., Quiblier, C., Jansen, J. M., Gattuso, J. P., Middelburg, J. J., & Heip, C. H. (2007). Impact of elevated CO₂ on shellfish calcification. *Geophysical research letters*, 34(7).
- Gil-Agudelo D.L., Navas-Camacho, R., Rodríguez-Ramírez, A., Reyes-Nivia, M.C., Bejarano-Chaparro, S., Garzón-Ferreira, J. y Smith G. W. (2009). Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 38 (2): 189-224. ISSN 0122-9761
- Gómez, A., Wright, P. J., Lunt, D. H., Cancino, J. M., Carvalho, G. R., y Hughes, R. N. (2007). Mating trials validate the use of DNA barcoding to reveal cryptic speciation in a marine bryozoan. *Proceedings of the Royal Society B*, 274(1607), 199–207. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3708>
- Grégoire, M., Oschlies, A., Canfield, D., Castro, C., Ciglenecki, I., Croot, P., ... & Yücel, M. (2023). Ocean Oxygen: the role of the Ocean in the oxygen we breathe and the threat of deoxygenation.
- Guardiola, M., Uriz, M.J., Taberlet, P., Coissac, E., Wangensteen, O.S. y X. Turon (2015). Deep-Sea, Deep-Sequencing: Metabarcoding Extracellular DNA from Sediments of Marine Canyons. *PLoS ONE* 10(10): e0139633. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139633>
- Gui, J., & Sun, J. (2024). Phytoplankton carbon to chlorophyll a model development: a review. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1466072.
- Guinotte, J. M. and V. J. Fabry. (2008). Ocean acidification and its potential effects on marine ecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134: 320-342.

- Hidalgo-Ruz, V., D. Honorato-Zimmer, M. Gatta, P. Nuñez, I. Hinojosa y M. Thiel. 2018. Spatio-temporal variation of anthropogenic marine debris on Chilean beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 126: 516-524. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.014>
- Hill, J. y C. Wilkinson. 2004. *Methods for ecological monitoring of coral reefs: a resource for managers*. Australian institute for marine science. 117 p
- 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., <https://doi.org/10.3133/ofr20211091>.
- Hogikyan, A., & Resplandy, L. (2024). Hydrological cycle amplification imposes spatial patterns on the climate change response of ocean pH and carbonate chemistry. *Biogeosciences*, 21(20), 4621-4636.
- Honkanen, M., Müller, J. D., Seppälä, J., Rehder, G., Kielosto, S., Ylöstalo, P., ... & Laakso, L. (2021). The diurnal cycle of pCO₂ in the coastal region of the Baltic Sea. *Ocean Science*, 17(6), 1657-1675.
- 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. (2021). NTC 5403, método A. Calidad del suelo: Determinación del contenido de carbono orgánico y total en muestras de suelo y materiales orgánicos por el método de oxidación seca. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Bogotá, Colombia.
- ICONTEC. (2022). NTC-ISO 11464: Calidad del suelo. Pretratamiento de muestras para análisis fisicoquímicos (Segunda edición). Bogotá, Colombia.
- INVEMAR. (2007). Ordenamiento ambiental de la zona costera del departamento del Atlántico. Santa Marta: INVEMAR. Recuperado el 11 de diciembre de 2025, tomado de: <https://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/zcatlantico.pdf>
- INVEMAR. 2020. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Luisa F. Espinosa, Paola Obando y Ostin Garcés (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 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 171 p.

- INVEMAR. 2023. Diagnóstico de calidad ambiental marina REDCAM. Cusba, J, P. Obando y L. Espinosa (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico final 2022, Santa Marta. 233 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. 2025. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Cusba, J., Pacheco, C., ObandoMadera, P.S., & Espinosa, L.F. (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 2024, Santa Marta. 144 p.
- 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.
- 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. Informe Técnico Final. Convenio CRA--004-2024. PRY-CAM-007-24. Santa Marta. 193 p.
- INVEMAR-MADS. (2021). Proyectos de eco-reducción del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático en comunidades costeras del Pacífico y el Caribe. Informe Técnico Final.
- INVEMAR-MADS. (2022). Proyectos de eco-reducción del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático en el municipio Nuquí y en la localidad de Barú del distrito de Cartagena. Informe Técnico Final.
- Ishizu, M., Miyazawa, Y., Tsunoda, T., & Guo, X. (2020). Seasonal variability in the inorganic ocean carbon cycle in the Northwest Pacific evaluated using a biogeochemical and carbon model coupled with an operational ocean model. Climatic Change, 162(2), 877-902.
- ISO. (2009). ISO 13320. Particle size analysis — Laser diffraction methods. International Organization for Standardization.

- IUCN (2020). Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. First edition. Gland, Switzerland: IUCN.
- Jiang, L. Q., Carter, B. R., Feely, R. A., Lauvset, S. K., & Olsen, A. 2019. Surface ocean pH and buffer capacity: past, present and future. *Scientific reports*, 9(1), 18624.
- Jin, G., Engle, 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.
- Knox, G.A. 2001. The ecology of seashore. CRC Press. Boca Raton. 557 p.
- Kovač Viršek M, Palatinus A, Koren Š, Peterlin M, Horvat P, Kržan A. Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis. *J Vis Exp*. 2016 Dec 16;(118):55161. doi: 10.3791/55161. PMID: 28060297; PMCID: PMC5226407.
- Kroecker, K. J., Kordas, R. L., Crim, R., Hendriks, I. E., Ramajo, L., Singh, G. S., ... & Gattuso, J. P. (2013). Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global change biology*, 19(6), 1884-1896.
- Lamarck, J.B.M. *Histoire Naturelle des Animaux Sans Vertèbres*; Smithsonian Institution: Paris, France, 1816; Volume 2, p. 568.
- 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
- Lobelle, Delphine, Kooi, Merel, Koelmans, Albert A., Laufkotter, Charlotte, Jongedijk, Cleo E., Kehl, Christian, Sebille, Erik van, 2021. Global modeled sinking characteristics of biofouled microplastic. *J. Geophys. Res.: Oceans* 126 (4), e2020JC017098. <https://doi.org/10.1029/2020JC017098>.
- Manahan, S. 2007. Introducción a la química ambiental (primera Edición). Reverté Ediciones S. A., España. 150-152.
- Marulanda-Gómez Ángela, López-Victoria M, Zea S. 2020. Colonización a largo plazo de corales por una esponja excavadora del Caribe. *Bol. Investig. Mar. Costeras*. 49(1):101-12.
- Matos, A., y Ávila, A. (2021). Symbiotic associations in ascidians: relevance for functional innovation and bioactive potential. *Marine Drugs*, 19(7), 370. <https://doi.org/10.3390/md19070370>

- Miller, S. A., Dykes, D. D., y Polesky, H. F. (1988). A simple salting out procedure for extracting DNA from human nucleated cells. *Nucleic Acids Research*, 16(3), 1215. <https://doi.org/10.1093/nar/16.3.1215> pubmed.ncbi.nlm.nih.gov.
- MinAmbiente - Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Decreto N° 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto N° 1594 de 1984, artículos 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10, en cuanto a usos agua y residuos líquidos. Bogotá, 2015. <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/81-plantilla-areas-planeacion-y-seguimiento-30#normas-fuente>
- Moreno, H. S., Bolívar-Anillo, H. J., Soto-Varela, Z. E., Aranguren, Y., González, C. P., Villate Daza, D. A., & Anfuso, G. (2019). Microbiological water quality and sources of contamination along the coast of the Department of Atlántico (Caribbean Sea of Colombia): Preliminary results. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 303–308. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.054>
- Murcia-Riaño, M., Ricaurte-Villota, C., Ordoñez-Zuñiga A., & Bastidas Salamanca 2017. Capítulo 2 Región 1: Sistema de la Guajira. PP (34-47) En Ricaurte-Villota, C. y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.). 2017. Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés (INVEMAR). Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR #14. Santa Marta, Colombia 180 p.
- Navas-Camacho R., Gil-Agudelo, D.L., Rodríguez-Ramírez, A., Reyes-Nivia, M.C. y Garzón-Ferreira, J. (2010). Coral diseases and bleaching on Colombian Caribbean coral reefs. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 58 (suplem 1): 95-106.
- NOAA. 2025. Disponible en: gml.noaa.gov/webdata/ccgg/trends/co2/co2_trend_gl.txt
- OMS - Organización Mundial de la Salud. 2003. Directrices para ambientes de aguas recreativas seguras. Costa y aguas frescas. Vol. 1. Ginebra. 219 p.
- Orfila, A., Urbano-Latorre, C. P., Sayol, J. M., Gonzalez-Montes, S., Caceres-Euse, A., Hernández-Carrasco, I., & Muñoz, Á. G. (2021). On the impact of the Caribbean counter current in the Guajira upwelling system. *Frontiers in Marine Science*, 8, 626823.
- Osorio, S. (2011). Diseño y organización de un modelo de playa de turismo sostenible que permita el crecimiento económico y beneficios socioculturales en la comunidad Mokaaná, Tubará-Dpto Atlántico, Colombia. Recuperado el 11 de diciembre de 2025, tomado de: <https://www.ucipfg.com/biblioteca/files/original/7f3ce2dc807897ecc31450374b6dcd80.pdf>

- 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.
- Pereira, J. C., Chaves, R., Bastos, E., Leitão, A., y Guedes-Pinto, H. (2011). An efficient method for genomic DNA extraction from different molluscs species. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(11), 8086–8095. <https://doi.org/10.3390/ijms12118086>
- Petersen, D., Deigaard, R., & Fredsøe, J. (2008). Modelling the morphology of sandy spits. *Coastal Engineering*, 55(7-8), 671-684.
- Pfohl, P., Santizo, K., Sipe, J., Wiesner, M., Harrison, S., Svendsen, C., Wohlleben, W., 2025. Environmental degradation and fragmentation of microplastics: dependence on polymer type, humidity, UV dose and temperature. *Microplastics and Nanoplastics* 5, 7. <https://doi.org/10.1186/s43591-025-00118-9>
- Pierrot, D. E. Lewis, & D. W. R. Wallace. 2012. MS Excel Program Developed for CO2 System Calculations. ORNL/CDIAC-105a. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee. doi: 10.3334/CDIAC/otg.CO2SYS_XLS_CDIAC105a
- PNUMA (2022). Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) en ciudades latinoamericanas: De medidas piloto a la integración en la planificación.
- Polanco-Fernández, A., V. Marqués, F. Fopp, J.B. Juhel, G.H. Borrero-Pérez, M.C. Cheutin, T. Dejean, J.D. González-Corredor, A. Acosta-Chaparro, R. Hocdé, D. Eme, E. Maire, M. Spescha, A. Valentini, S. Manel, D. Mouillot, C. Albouy y L. Pellissier (2020). Comparing environmental DNA metabarcoding and underwater visual census to monitor tropical reef fishes. *Environmental DNA*, 3(1): 1–15. <https://doi.org/10.1002/edn3.140>
- Prado Domercq, C., Praetorius, A., MacLeod, M., 2022. *The Full Multi: an open-source framework for modelling the transport and fate of nano- and microplastics in aquatic systems*. *Environmental Modelling & Software* 148, 105291. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105291>
- Python Software Foundation. (2023). Python (versión 3.12) [Software]. <https://www.python.org/>
- Qiu, L., Jiang, K., Li, Q., Yuan, D., Chen, J., Yang, B., & Achterberg, E. P. (2024). Variability of total alkalinity in coastal surface waters determined using an in-situ analyzer in conjunction with the application of a neural network-based prediction model. *Science of the Total Environment*, 908, 168271.

- 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., Gracia, A., Vélez-Mendoza, A., Mantilla-Barbosa, E., Arana, VA, Trilleras, J., & Arroyo-Olarte, H. (2018). Abundancia y distribución de basura en playas del Departamento del Atlántico, costa Caribe de Colombia. Boletín de contaminación marina , 136 , 435-447. Recuperado el 11 de diciembre de 2025, tomado de: <https://pdf.sciencedirectassets.com/271825/1-s2.0-S0025326X18X00125/1-s2.0-S0025326X18306799/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJBVarlyXxtFAiEAg6POf4joXnh0g4UQrm7Ne16u7%2F6OhydjNPdI588hjLcqswUIHBAFGgwwNTkwMDM1NDY4NjUiDBjeOsd&rr=97d9a15bc95fa680&cc=co>
- Reimer, J. J., Medeiros, P. M., Hussain, N., Gonski, S. F., Xu, Y. Y., Huang, T. H., & Cai, W. J. (2024). Carbonate chemistry and the potential for acidification in georgia coastal marshes and the south atlantic bight, USA. Estuaries and Coasts, 47(1), 76-90.
- Revelle, R., & Suess, H. E. (1957). Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase of atmospheric CO₂ during the past decades. Tellus, 9(1), 18–27. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v9i1.9075>
- Reyes, J., N. Santodomingo y P. Flórez. 2010. En: INVEMAR (eds). 2010. Corales escleractínios de Colombia. INVEMAR, serie de publicaciones especiales, No. 14. Santa Marta. 246 p
- Ricaurte-Villota, C. y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.). 2017. Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés (INVEMAR). Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR #14. Santa Marta, Colombia 180 p.
- Ricaurte-Villota, C., Murcia-Riaño, M., & Hernández-Ayón, J. M. (2025). Dynamics and drivers of the carbonate system: response to terrestrial runoff and upwelling along the Northeastern Colombian Caribbean coast. Frontiers in Marine Science, 11, 1305542.
- Royero, J. C. O. (2013). CLIMATE AND NATURAL HAZARDS ON THE COLOMBIAN CARIBBEAN REGION. Current Politics and Economics of South and Central America, 6(4), 555
- Sabine, C. L., R. A. Feely, N. Gruber, R. M. Key, K. Lee, et al. 2004, The oceanic sink for anthropogenic CO₂, Science, 305, 367–371, doi:10.1126/science.1097403.
- 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.

- Semana. 2025. *Turismo en el Atlántico: conozca los destinos para todos los gustos que ofrece este departamento*. Revista Semana. <https://www.semana.com/mejor-colombia/articulo/turismo-en-el-atlantico-conozca-los-destinos-para-todos-los-gustos-que-ofrece-este-departamento/202501/>
- Strickland, J.D. y Parsons T.R. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, 310 p.
- Taberlet, P., A. Bonin, E. Coissac, Zinger L. 2018. Environmental DNA: For biodiversity research and monitoring. Oxford University Press. Oxford, U.K. 253 p.
- Teixeira, M. A. L., Aylagas, E., Pearman, J. K., y Carvalho, S. (2025). Gaps and data ambiguities in DNA reference libraries: A limiting factor for molecular-based biodiversity assessments using annelids as a case study. *Ecology and Evolution*, 15, e71544. <https://doi.org/10.1002/ece3.71544>
- Toro, J. Martinez, R. Arrieta, G. 2013. Métodos de evaluación de impacto ambiental en Colombia. *Rev. Investigación agraria y ambiental*. 4:43 – 53.
- Torres Bejarano, F., Cantero Rodelo, R., Díaz-Solano, B., Mendoza Lozano, J. M., & López Mejía, Y. F. (2014). Análisis socioambiental de las playas Puerto Velero y Caño Dulce en Tubará, Atlántico, Colombia. *Teoría y Praxis*, Número especial, 161–179. Universidad de la Costa. Recuperado el 11 de diciembre de 2025, tomado de: <https://repositorio.cuc.edu.co/entities/publication/4c8472d6-3744-42c8-9115-31942e61a051>
- Torres Bejarano, F., González-Márquez, L. C., Díaz-Solano, B., Torregroza Espinosa, A. C., & Cantero-Rodelo, R. (2018). Effects of beach tourists on bathing water and sand quality at Puerto Velero, Colombia. *Environment, Development and Sustainability*, 20(1), 255-269.
- UNESCO (1984). Manual y guía de la COI 13: Métodos de análisis para los contaminantes marinos. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. París, Francia. (Referencia para los Hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno).
- UNESCO/IOC (Comisión Oceanográfica Intergubernamental). (1983). Método de Digestión con Persulfato de Potasio y Determinación Colorimétrica por Reducción con Cadmio. Manuales y Guías 12: Métodos de Análisis de Nutrientes en Agua de Mar (Título exacto puede variar según la edición). París: UNESCO.
- 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.

- Valentini, A., P. Taberlet, C. Miaud, R. Civade, J. Herder, P.F. Thomsen, E. Bellemain, A. Besnard, E. Coissac, F. Boyer, C. Gaboriaud, P. Jean, N. Poulet, N. Roset, G.H. Copp, P. Geniez, D. Pont, C. Argillier, J.M. Baudoin y T. Dejean (2016). Next-generation monitoring of aquatic biodiversity using environmental DNA metabarcoding. *Molecular Ecology*, 25(4), 929–942. <https://doi.org/10.1111/mec.13428>
- Van Woesik, R., Shlesinger, T., Grottoli, A. G., Toonen, R. J., Vega Thurber, R., Warner, M. E., Marie Hulver, A., Chapron, L., McLachlan, R. H., Albright, R., Crandall, E., DeCarlo, T. M., Donovan, M. K., Eirin-Lopez, J., Harrison, H. B., Heron, S. F., Huang, D., Humanes, A., Krueger, T., ... Zaneveld, J. (2022). Coral-bleaching responses to climate change across biological scales. *Global Change Biology*, 28, 4229–4250. <https://doi.org/10.1111/gcb.16192>
- Venera-Pontón, D. E., Driskell, A. C., De Grave, S., Felder, D. L., Scioli, J. A., y Collin, R. (2020). Documenting decapod biodiversity in the Caribbean from DNA barcodes generated during field training in taxonomy. *Biodiversity Data Journal*, 8, e47333. <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e47333>
- 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 y T. Córdoba-Meza. 2025. Ficha Metodológica Índice de Calidad de aguas marinas y costeras ICAM. Versión 6. Santa Marta D.T.C.H., Colombia. 14.
- Vivas-Aguas, J., M.J. Castillo-Viana. T. Córdoba-Meza y P. Obando-Madera. 2025. Metodología de la operación estadística índice de calidad de aguas marinas y costeras – ICAM. Versión 4. Santa Marta. 91 p
- Vivas-Aguas, L.J., J. Sánchez, J. Betancourt, M. Quintero, Y. Moreno, C. Santana, I. Cuadrado, K. Ibarra, M. Ríos, P. Obando y D. Sánchez. 2014. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar. No. 4 (2014). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe técnico 2013. INVEMAR. Santa Marta, 314p.
- Waeschenbach, A., Taylor, P. D., y Littlewood, D. T. J. (2012). A molecular phylogeny of bryozoans. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 62(2), 718–735. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.11.011>
- Wanninkhof, R. (1992). Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 97(C5), 7373-7382.

- Ward, R. D., Holmes, B. H., O'Hara, T. D., y Byrne, M. (2008). DNA barcoding discriminates echinoderm species. *Molecular Ecology Resources*, 8(6), 1202–1211. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2008.02277.x>
- Weiss, R. F., Jahnke, R. A., & Keeling, C. D. (1982). Seasonal effects of temperature and salinity on the partial pressure of CO₂ in seawater. *Nature*, 300(5892), 511-513.
- Weller E. 2017. Hidroides del mar Caribe con énfasis en la región de Santa Marta, Colombia. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR. Serie de publicaciones generales del INVEMAR # 94. Santa Marta, Colombia. 200 p.
- Weller E. 2017. Hidroides del mar Caribe con énfasis en la región de Santa Marta, Colombia. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR. Serie de publicaciones generales del INVEMAR # 94. Santa Marta, Colombia. 200 p.
- Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.
- Williams, R. G., & Follows, M. J. (2011). Ocean dynamics and the carbon cycle: Principles and mechanisms. Cambridge University Press.
- Wörheide, G., Nichols, S. A., y Goldberg, J. (2004). Intragenomic variation of the rDNA internal transcribed spacers in sponges (Porifera): implications for phylogenetic studies. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 33(3), 816–830. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2004.08.003>
- Zanardi, E., M. Caruso-Bícego y R. Weber. 1999. Dissolved/ dispersed petroleum aromatic hydrocarbons in the São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 38(5): 410-413.
- Zeebe, R. E., & Wolf-Gladrow, D. (2021). CO₂ in Seawater: Equilibrium, Kinetics, Isotopes (2^a ed.).
- Zhou, Y., Trujillo-González, A., Nicol, S., Huerlimann, R., Sarre, S. D., y Gleeson, D. (2025). Evaluation of DNA barcoding reference databases for marine species in the western and central Pacific Ocean. *PeerJ*, 13, e19674. <https://doi.org/10.7717/peerj.19674> pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

10. ANEXOS

- Anexo 1. Plan de muestreo ejecutado REDCAM Atlántico 1-4 de septiembre de 2025.
- Anexo 2. Reporte de datos basura marina en arena de playa REDCAM Atlántico 2025
- Anexo 3. Reporte de datos de microplásticos en arena de playa REDCAM Atlántico 2025
- Anexo 4. Reporte de datos del LABCAM de aguas y sedimento de salida de campo REDCAM Atlántico 2025.
- Anexo 5. Reporte de datos del LABCAM con variables del sistema de carbonatos de la estación de Puerto Velero.
- Anexo 6. Invitación a delegado CRA Curso Taller REDCAM 2025.
- Anexo 7. Certificado de participación del Curso Taller REDCAM 2025.
- Anexo 8. Constancias de depósito de especímenes ingresados a las colecciones de referencia del MHNMC.
- Anexo 9. Matriz de evaluación de Impactos en las playas de Puerto Velero y Caño Dulce.
- Anexo 10. Memorias de las actividades de Alfabetización oceánica realizadas.
- Anexo 11. Acta taller con la comunidad para la priorización de SbN para la mitigación de la erosión costera en el sector entre la ciénaga de manatíes y el tamar de bocas de ceniza.
- Anexo 12. Acta taller con expertos para la priorización de SbN para la mitigación de la erosión costera en el sector entre la ciénaga de manatíes y el tamar de bocas de ceniza.
- Anexo 13. Trayectorias de las boyas de deriva en Puerto Moco y Puerto Velero.