

PROYECTO HERRAMIENTAS TÉCNICO-CIENTÍFICAS COMO SOPORTE A LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO- CRA EN LA ZONA COSTERA DEL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. CV 008 DE 2023 CRA- INVEMAR
Informe Técnico Final – ITF – PRY-CAM – 008-23



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

Santa Marta, diciembre de 2023



INFORME TÉCNICO DE AVANCE

Director General

Francisco A. Arias Isaza

Subdirector Coordinación Científica (SCI)

Jesús Antonio Garay Tinoco

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

Paula Cristina Sierra Correa

Coordinador Coordinación de Servicios Científicos (CSC)

Juan Carlos Márquez (E)

Coordinador Programa Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)

David Alonso Carvajal

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

Mario Rueda Hernández

Coordinadora Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)

Luisa Fernanda Espinosa

Coordinadora Programa Geociencias Marinas y Costeras (GEO)

Constanza Ricaurte

Subdirectora Administrativa (SRA)

Sandra Rincón Cabal

PREPARADA POR:

Equipo técnico INVEMAR

Programa CAM

Cristian Camilo Ruiz-Medina
Derly Yurani Rojas Escobar
Lizbeth Janet Vivas-Aguas
Carlos Andrés Pacheco Vélez
María José Pacheco Tuberquia
Laura Sofía Coral Chamorro
Jair José Valdés Carrascal
Karen Patricia Ibarra Gutiérrez
Paola Sofía Obando Madera
Luisa Fernanda Espinosa Díaz

Programa GEO

Paula Macías Hemer
Jorge Díaz Rentería
Ana María Osorio
David Morales Giraldo
Constanza Ricaurte Villota

Coordinación GEZ - LABSIS

Santiago Millán Cortés
Jhonny Humberto Garcés
Carolina García Valencia (E)

Programa BEM

Andrés Felipe Acosta Chaparro
Laura Sánchez Valencia
Diana Isabel Gómez López

Apoyo Técnico

Unidad de laboratorios de Calidad Ambiental Marina- LABCAM

César Bernal, Leydy Alarcón, Juliana Gómez, Omar Cantillo, Kelvin Varela, Jonatan Pai

Línea Evaluación y seguimiento de la Calidad Ambiental Marina

Juan Fernando Saldarriaga Vélez

Línea Prevención y Protección

Jady Vanessa Rodríguez

Equipo Técnico CRA

Efraín Leal Puccini
Ayari María Rojano

Citar como:

Este informe deberá ser citado de la siguiente manera:

a) Si cita todo el informe: INVEMAR-CRA. 2023. Herramientas técnico-científicas como soporte a la gestión ambiental de la corporación autónoma regional del Atlántico- CRA en la zona costera del departamento del Atlántico. Informe Técnico Final. Convenio CRA-008-2023. PRY-CAM-008-23. Santa Marta. 138 p + Anexos.

b) Si cita un capítulo: Autor(es). Año. Nombre del capítulo. pp. En: Herramientas técnico-científicas como soporte a la gestión ambiental de la corporación autónoma regional del Atlántico- CRA en la zona costera del departamento del Atlántico. Informe Técnico Final. Convenio CRA-008-2023. PRY-CAM-008-23. Santa Marta. 138 p. + anexos

Foto portada: Actividades realizadas en la Playa Puerto Velero, zona costera del departamento del Atlántico. Fotografía tomada por Cristian Camilo Ruiz.

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.....	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GENERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	RESUMEN ACTIVIDADES DESARROLLADAS.....	15
4	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MARINA Y COSTERA EN EL DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO Y OPERACIÓN DEL NODO REDCAM.....	17
4.1	ÁREA DE ESTUDIO	17
4.2	METODOLOGÍA	18
4.2.1	Calidad de aguas y sedimentos.....	18
4.2.2	Basura Marina y microplásticos	21
4.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.3.1	Calidad de aguas marinas y costeras.....	24
4.3.2	Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas	29
4.3.3	Calidad de sedimentos.....	34
4.3.4	Contaminación por basura marina y microplásticos en playas turísticas.....	37
4.3.5	Actualización del sistema de información REDCAM	41
4.3.6	Curso Taller REDCAM 2023	43
4.3.7	Conclusiones y recomendaciones	43
5	ESTABLECIMIENTO DE LA CONDICIÓN ACTUAL, UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ECOSISTEMA DE PASTOS MARINOS EN LA ENSENADA DE PUERTO VELERO	45
5.1	ÁREA DE ESTUDIO	45
5.2	METODOLOGÍA	46
5.2.1	Identificación de la condición actual de los pastos marinos.....	46
5.2.2	Determinación de la ubicación y extensión del ecosistema de pastos marinos.....	46
5.2.3	Valoración de factores de degradación y recomendaciones para la prevención y protección ambiental.....	51
5.2.4	Recomendaciones para la prevención y protección ambiental	55
5.2.5	Espacio de alfabetización oceánica.....	56
5.3	RESULTADOS.....	57
5.3.1	Identificación de la condición actual de los pastos marinos.....	57
5.3.2	Determinación de la ubicación y extensión del ecosistema de pastos marinos.....	60
5.3.3	Valoración de factores de degradación y recomendaciones para la prevención y protección ambiental.....	65
5.3.4	Recomendaciones para la prevención y protección ambiental	79

5.3.5	Espacio de sensibilización ambiental y alfabetización oceánica con énfasis en los pastos marinos de Puerto Velero, departamento del Atlántico	94
5.4	CONCLUSIONES	97
6	SEGUIMIENTO A LOS CAMBIOS DE LA LÍNEA DE COSTA Y DINÁMICA GEOMORFOLÓGICA EN LA CIÉNAGA DE MALLORQUÍN.....	98
6.1	METODOLOGÍA	98
6.1.1	Estado del arte	98
6.1.2	Análisis multitemporal de la dinámica litoral	98
6.2	RESULTADOS	105
6.2.1	Estado del arte del conocimiento geológico en relación con la erosión costera	105
6.2.2	Análisis multitemporal de la dinámica litoral	120
6.3	CONCLUSIONES	127
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
8	ANEXOS.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1. Ubicación de las estaciones de muestreo de REDCAM del departamento de Atlántico. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo definidas para la REDCAM. Fuente: Laboratorio de Servicios de Información – INVEMAR.	17
Figura 4-2. Actividades de muestreo realizadas en la salida de campo REDCAM Atlántico. Recolección de muestras en Rincón Hondo (A), mediciones de parámetros in situ en Punta Roca para el análisis de calidad de aguas (B), recolección de muestras para el análisis microplásticos y basura marina en playas (C y D). Fotos: Programa CAM – INVEMAR.....	18
Figura 4-3. Actividades de muestreo realizadas en la Ciénaga Balboa. Evidencia de la ausencia de la barra arenosa en la antigua estación Ciénaga Balboa (A), Zona de la Ciénaga Balboa donde se recolectó la muestra de agua (B y C), toma de muestra en la estación redefinida en campo en la Ciénaga Balboa (D).	25
Figura 4-4. Variación histórica (2001- 2023, sin año 2020) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM del departamento de Atlántico, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. El ancho de la caja es proporcional al número de datos. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).	25
Figura 4-5. Calidad de agua superficial ICAMPFF para época seca (muestreo en septiembre) del 2023, en las estaciones marinas y costeras del departamento del Atlántico.	27
Figura 4-6. Carbono orgánico total (COT) de las muestras de agua recopiladas en época seca (muestreo en septiembre) del 2023 en el departamento del Atlántico.	28
Figura 4-7. 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 entre el 25 al 27 de septiembre de 2023.	29
Figura 4-8. 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, 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. LP: Límite Permisible.	30
Figura 4-9. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Atlántico. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permisible.	31

Figura 4-10. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Atlántico. Línea roja: valor de referencia el valor de referencia (límite permisible) 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL; Union-Europea_2006) y la línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL; OMS,_2003). L.P: Limite Permisible.....	32
Figura 4-11. Concentración de metales disueltos en agua en las estaciones de agua dulce del departamento del Atlántico, colectadas en septiembre del 2023. Los valores de referencia para efectos crónicos y efectos agudos se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). Las líneas verticales rojas representar los valores de referencia para efectos crónicos y las de color azul para efectos agudos. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.....	33
Figura 4-12. Concentración de metales disueltos en agua marina recopilados en septiembre del año 2023, en el departamento del Atlántico. Los valores de referencia para efectos crónicos y efectos agudos se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para agua marina. Las líneas verticales rojas representar los valores de referencia para efectos crónicos y las de color azul para efectos agudos. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.....	34
Figura 4-13. Curva granulométrica de las muestras de sedimentos recopiladas en el 2023 (septiembre), en la estación Puerto Velero y Base Naval-17 en el departamento del Atlántico.....	35
Figura 4-14. Tamaño medio de partícula del sedimento (μm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en septiembre del año 2023, 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).	35
Figura 4-15. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos (P. Velero) y fluviales (Base Naval – 17) recopilados en septiembre de 2023 (época seca) en el departamento del Atlántico. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino y fluviales. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.	36
Figura 4-16. Abundancia de basura marina en las playas turísticas priorizadas del departamento del Atlántico, registrada en los muestreos llevados a cabo el 27 de septiembre de 2023.	37
Figura 4-17. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de basura marina en las playas turísticas del Atlántico, evaluadas en los muestreos realizados el 27 de septiembre de 2023.	38
Figura 4-18. Abundancia de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas del Atlántico, colectadas el 27 de septiembre de 2023.	39
Figura 4-19. Basura marina y microplásticos observados en playa Punta Astillero en el departamento del Atlántico en el mes de septiembre de 2023.	40

Figura 4-20. Porcentajes de la representación de microplásticos caracterizados según su forma a partir de muestras de arena de playa turísticas del Atlántico, colectadas el 27 de septiembre de 2023.....	40
Figura 4-21. Sistema de Información Ambiental Marina – SIAM.....	42
Figura 4-22. Metadato de la salida de campo REDCAM Atlántico realizada del 25 al 27 de septiembre de 2023 cargado en el servicio de catalogación de información de metadatos del Sistema de Información Ambiental Marina – SIAM.....	43
Figura 4-23. Visualización de los datos de las estaciones de monitoreo REDCAM ubicadas en el departamento del Atlántico.....	43
Figura 5-1. Mapa de ubicación de la ensenada de Puerto Velero, Atlántico.....	45
Figura 5-2. Procedimiento de ubicación de puntos de interés para el muestreo a través de boyas y GPS.	46
Figura 5-3. Mejores imágenes PlanetScope de Puerto Velero seleccionadas por permitir la visualización del fondo marino adyacente al límite costero. A. imagen del 21 de julio de 2023, B. Imagen del 14 de julio de 2023, C. Imagen del 6 de enero de 2023, D. Imagen del 11 de noviembre de 2022.....	48
Figura 5-4. Mapa de fondos marinos y mosaico generado durante el convenio interadministrativo No. 0010 de 2021 CRA- INVEMAR (mapa tomado del informe del citado convenio).....	48
Figura 5-5. Visualización del mapa para la captura de información en campo en dos sectores de Puerto Velero. Elaboración LabSIS- INVEMAR 2023.	49
Figura 5-6. Visualización de la totalidad de los puntos tomados en la salida de campo de Puerto Velero. Elaboración LabSIS- INVEMAR 2023.	50
Figura 5-7. Visualización de la porción marina de Puerto Velero con base en A. Clasificación No supervisada Iso Cluster, B. Clasificación Supervisada Random Forest, y C. Visualización con componentes principales.....	51
Figura 5-8. Visualización de la porción marina en la zona del muelle o marina. Las flechas indican parches de pastos marinos. A. Visualización de una imagen PlanetScope del 28 de julio de 2023. B. Visualización de la misma imagen bajo componentes principales y C, Visualización de la imagen con base en clasificación no supervisada Iso Cluster. Fuente: LabSIS- INVEMAR 2023.....	51
Figura 5-9. Taller con participantes de las comunidades para espacializar las problemáticas ambientales de Puerto Velero y Caño Dulce (A) y realización de encuesta a pescador de la zona de Puerto Velero (B). Fotos: Cristian Ruiz.....	56
Figura 5-10. Jornada de alfabetización oceánica. Centro Educativo Juaruco (A), Institución Educativa Playa Mendoza (B). Fotos: Cristian Ruiz.	57
Figura 5-11. Colonias de Siderastrea siderea (A), Siderastrea radians (B) y (C) Pseudodiploria strigosa representativas en el sector de Puerto Velero Fotos: Andrés Acosta	58
Figura 5-12. Fotografía de Halodule wrightii en áreas de pastos marinos dispersos. Fotos: Andrés Acosta	58

Figura 5-13. Fotografía de sedimentos bioturbados característicos en el sector de Puerto Velero. Foto: Andrés Acosta	59
Figura 5-14. Fotografía del área de sedimentos bioturbados – Halophila spp (Arriba Halophila baillonis, Abajo Halophila decipiens) Foto: Laura Sánchez	59
Figura 5-15. Fotografía de sedimentos bioturbados – Syringodium filiforme Foto: Andrés Acosta.....	60
Figura 5-16. Fotografías del pasto marino Thalassia testudinum en Puerto Velero. Foto: Laura Sánchez	60
Figura 5-17. De manera preliminar, la información de campo permitió identificar patrones espaciales, con 7 tipos de unidades bióticas del fondo marino de Puerto Velero.	61
Figura 5-18. Visualización del mapa de los fondos marinos de Puerto Velero donde se discrimina los sitios con presencia de pastos marinos. Los fondos donde los pastos marinos son más relevantes, se presentan en varios parches que se localizan en los cuadros señalados en el mapa.	63
Figura 5-19. Visualización del área adyacente a la marina donde se desarrollan la mayor parte de los parches de pastos marinos de Puerto Velero. Fuente: LabSIS- INVEMAR 2023	64
Figura 5-20. Visualización de parches de pasto marino que se encuentran en el costado norte de Puerto Velero. Fuente: LabSIS-INVEMAR 2023.	65
Figura 5-21. Mapa de ubicación de presiones identificadas en la ensenada de Puerto Velero, Atlántico.	66
Figura 5-22. Rellenos de playa con sacos de arena en el sector de Puerto Velero (A, B) y sector de Caño Dulce (C, D). Fotos: Cristian Ruiz.	67
Figura 5-23. Puntos ecológicos de recolección de plástico sector Puerto Velero (A, B, C) y sector Caño Dulce (D). Fotos: Cristian Ruiz.....	68
Figura 5-24. Residuos sólidos identificados al interior del manglar de la marina de Puerto Velero (A), residuos de material vegetal en la playa de Puerto Velero (B) y puntos de acumulación de diferentes residuos sólidos, en especial, plástico, vidrio y electrodomésticos en el sector de Caño dulce en la zona de pescadores (C y D). Fotos: Cristian Ruiz.	68
Figura 5-25. Residuos de empaques de comida observados en el fondo de la columna de agua y circundante al ecosistema de pastos marinos en la ensenada de Puerto Velero (A y B), fibras de costales deteriorados (C) y latas de aluminio (D). Fotos: Derly Rojas.....	69
Figura 5-26. Desembocadura del arroyo Trebal en la playa de Caño Dulce (A y B), Sedimentación- materia orgánica sobre parche de pasto marino (c). Residuos de construcción en el cuerpo de agua (D). Fotos: Cristian Ruiz.	70
Figura 5-27. Pozas sépticas en el sector de la playa de Puerto Velero (A) y baño con su poza séptica en el sector de Caño Dulce (B). Fotos: Cristian Ruiz.	71
Figura 5-28. Canales y caños que se conectan con la playa de Puerto velero y Caño dulce (A y B), canal de aguas lluvias en el sector de Caño Dulce (C y D). Fotos: Cristian Ruiz.	71

Figura 5-29. Fondeo de Embarcaciones en la marina de Puerto Velero (A) y fondeo de embarcaciones de pescadores en la playa de Caño Dulce (B), zona de mantenimiento de embarcaciones (C y D). Fotos: Cristian Ruiz.	72
Figura 5-30. Quemados de residuos en la playa de Caño Dulce. Fotos: Cristian Ruiz.	73
Figura 5-31. Resultados de la evaluación de impacto en la Ensenada de Puerto Velero, Atlántico.....	73
Figura 5-32. Gráfica de dependencia e influencia de los factores sobre los pastos marinos de Puerto Velero. P1: residuos sólidos generados en playa; P2: vertimientos de agua residual, pozas sépticas; P3: erosión costera; P4: sedimentación; P5: materia orgánica; P6: residuos sólidos por deriva y escorrentía; P7: cambios del uso del suelo; P8: fondeo, tráfico y mantenimiento de embarcaciones; P9: control de erosión con sacos de arena.....	78
Figura 5-33. Actividad perfil productivo del grupo y su relación con los pastos marinos. Fotos: Cristian Ruiz	80
Figura 5-34. Identificación de factores de degradación y grado de afectación valorado por la comunidad local. Fotos: Derly Rojas.	81
Figura 5-35. Espacialización de presiones naturales y antrópicas identificadas en la ensenada de Puerto Velero por parte de la comunidad	82
Figura 5-36. Actividades que realizan los encuestados en las playas de la ensenada de Puerto Velero....	83
Figura 5-37. Percepción sobre el nivel de importancia de los pastos marinos como ecosistema presente en la ensenada de Puerto Velero y sus servicios ecosistémicos	83
Figura 5-38. Percepción de los encuestados sobre los servicios ecosistémicos que ofrecen los pastos marinos.....	84
Figura 5-39. Percepción social de actividades que pueden causar mayor afectación física al ecosistema de pastos marinos en Puerto Velero, departamento del Atlántico.....	84
Figura 5-40. Acciones propuestas para la protección de los pastos marinos en la ensenada de Puerto Velero.	85
Figura 5-41. Temas de interés para profundizar para el cuidado ambiental de la ensenada de Puerto Velero.	86
Figura 5-42. Línea de tiempo de cambios presentados en los últimos años y acciones que se han implementado y que se podrían realizar a futuro en la ensenada de Puerto Velero espacio con comunidades (A) y acciones propuestas por instituciones (B).	87
Figura 5-43. Esquema de recomendaciones de prevención y protección para la ensenada de Puerto Velero. Fuente: Elaboración propia.....	89
Figura 5-44. Material utilizado en los espacios de alfabetización oceánica con énfasis en el ecosistema de pastos marinos, realizado el 15 y 16 de noviembre de 2023 en las instituciones Centro Educativo Juaruco y la Institución Educativa Playa Mendoza.	95

Figura 5-45. Participación de los estudiantes durante las jornadas de Alfabetización Oceánica. Estudiantes Centro Educativo Juaruco (A y B). estudiantes de Institución Educativa Playa Mendoza (C y D). Fotos: Derly Rojas	96
Figura 5-46. Actividad de cierre de jornada de Alfabetización Oceánica y compromisos con el cuidado de los ecosistemas marinos y costeros Estudiantes del Centro Educativo Juaruco (A y B). Institución Educativa Playa Mendoza (C y D). Fotos: Derly Rojas	97
Figura 6-1. Diseño metodológico para el análisis de cambio de línea de costa.....	99
Figura 6-2. Set de imágenes satelitales de Landsat 7 y 8 color para los años 2000, 2013, 2022. Elaboración propia.	101
Figura 6-3. Combinación de bandas agua/terra (NIR- banda roja) – Imágenes Landsat de los años 2000, 2013 y 2022 en el área de la ciénaga de Mallorquín.	102
Figura 6-4. Campos y atributos para las entidades de línea de costa y línea base.	103
Figura 6-5. Creación de los puntos de medición con respecto a las líneas de costa y línea de base, ciénaga de Mallorquín.	104
Figura 6-6. Mapa geomorfológico del área Ciénaga de Mallorquín, año 1990. (Modificado de Ingeominas, 1990).....	106
Figura 6-7. Mapa geomorfológico del área de influencia de la Ciénaga de Mallorquín. (Tomado de EPA-Barranquilla Verde, Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) y CAF -Banco de Desarrollo de América Latina, 2022).	109
Figura 6-8. Batimetría de la Ciénaga Mallorquín. (Tomado de: EPA Barranquilla Verde y Uniatlántico, 2018).	111
Figura 6-9. Batimetrías de la Ciénaga de Mallorquín. (Tomado de EPA-Barranquilla Verde, Uniatlántico, 2019).....	111
Figura 6-10. Modelos batimétricos adquiridos en el año 2005 (A) y el año 2022 (B) en el área de la Ciénaga Mallorquín. Las líneas blancas indican los 12 transectos de tendencia noreste. (Tomado de Ecoversa, 2022).	112
Figura 6-11. Modelos batimétricos adquiridos en el año 2005 (A) y el año 2022 (B) en el área de la Ciénaga Mallorquín. (Tomado de Ecoversa, 2022).	112
Figura 6-12. Retroceso de línea de costa en la Ciénaga de Mallorquín, años 1973, 1986, 1990, 2000 y 2005. (Tomado de INVEMAR, 2007).	114
Figura 6-13. Modelo 3D de la superficie batimétrica frente a la desembocadura del río Magdalena, año 2004. (Tomado de Madrid, 2017).	115
Figura 6-14. Set de imágenes de satélite empleadas en el análisis evolutivo reciente de la Ciénaga. (Tomado de: Epa – Barranquilla Verde & Uniatlántico, 2018).	116
Figura 6-15. Recopilación de imágenes satelitales y fotografías aéreas para el análisis multitemporal. (Tomado de Hernandez-Narváez et al., 2020).....	117

Figura 6-16. Mapa del escenario de cambio en la línea de costa para el año 2030. (Tomado de Hernandez-Narváez et al., 2020)	118
Figura 6-17. Set de imágenes satelitales de Google Earth y los cambios en la línea costera calculados en Puerto Velero, Puerto Colombia y ciénaga de Mallorquín. (Tomado de Ferrucho-Maloof, I. et al., (2022).	119
Figura 6-18. Líneas de costa periodo 2000 – 2022 en la ciénaga de Mallorquín.	120
Figura 6-19. Tasa de cambio en la zona litoral, ciénaga Mallorquín.	122
Figura 6-20. Localización del transecto con la tasa de cambio máxima negativa y positiva.	123
Figura 6-21. Identificación de la flecha litoral con imágenes Landsat, por medio de la combinación de bandas agua/tierra (Green- SWIR) para el periodo 2008 –2022 el área de la Ciénaga de Mallorquín.	124
Figura 6-22. Comportamiento espacial de la flecha litoral para el periodo 2008 – 2022, en la Ciénaga de Mallorquín	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Resumen del avance de las actividades desarrolladas durante la ejecución del Convenio 008 de 2023.....	15
Tabla 4-1. Metodologías utilizadas para el análisis de las variables fisicoquímicas medidas in situ	18
Tabla 4-2. Coordenadas de referencia del cuadrante central (cuadrante 3) ubicado en las playas priorizadas del departamento del Atlántico para determinar el estado de contaminación de basura marina y microplásticos.	19
Tabla 4-3. Metodologías utilizadas para el análisis de las variables de calidad de aguas en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR.	19
Tabla 4-4. Variables para el cálculo del ICAM de acuerdo al tipo de agua. Fuente: Elaboración propia.	21
Tabla 4-5. Escala de Valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM _{PFF}), y opciones de medidas que se pueden optar según la valoración del indicador ICAM _{PFF} (Modificado de Marín, 2001).....	22
Tabla 4-6. Escalas del nivel de cumplimiento de concentraciones de Coliformes Termotolerantes, Coliformes totales y Enterococos fecales para el uso recreativo de aguas.....	23
Tabla 5-1. Descripción de las 8 bandas que componen las imágenes PlanetScope incluyendo la longitud de onda de cada una de ellas.....	47
Tabla 5-2. Calificación y valores utilizados en la evaluación de impactos. Fuente: Toro <i>et al.</i> , 2013.....	53
Tabla 5-3. Matriz de identificación de impactos ambientales por componente utilizado para Punta Astilleros modificado de Conesa, 2009.	54
Tabla 5-4. Calificación de la importancia del impacto. Modificado de Conesa, 2009	55
Tabla 5-5. Matriz Vester de tensores de pastos marinos en Puerto Velero.	77
Tabla 5-6. Valoración cualitativa de la comunidad local sobre el grado de afectación de las presiones y sus impactos potenciales que afectan el ecosistema de pastos marinos en la ensenada de Puerto Velero.	81
Tabla 5-7. Acciones propuestas por comunidades e instituciones enfocadas a la protección de los ecosistemas marinos de la ensenada de Puerto Velero.....	88
Tabla 5-8. Recomendaciones para la prevención y protección de los ecosistemas marinos y costeros de la ensenada de Puerto velero	90
Tabla 6-1. Especificaciones imágenes Landsat utilizadas en el análisis de cambios geomorfológicos en la ciénaga de Mallorquín.	100
Tabla 6-2. Clasificación de movimiento de la línea de costa según la tasa de regresión lineal.....	121
Tabla 6-3. Valores de longitudes de la flecha litoral en la Ciénaga de Mallorquín para el periodo comprendido entre 2008 y 2022.....	125

1 INTRODUCCIÓN

El departamento del Atlántico cuenta con ecosistemas marinos y costeros estratégicos que brindan bienes y servicios ambientales, los cuales soportan parte de la economía en la región ([INVEMAR, 2007](#)). La importancia que tienen ecosistemas como los manglares, pastos marinos, playas, litoral rocoso y arenoso, entre otros, hace necesario un mayor control y seguimiento de las actividades antrópicas que puedan causar deterioro, poniendo en riesgo la calidad de estos recursos y generando detrimento de sus servicios ecosistémicos ([Torres et al., 2014](#)). Por ello, es necesario que las autoridades ambientales competentes conozcan los ecosistemas y recursos presentes en su territorio, para desarrollar estrategias de vigilancia y control sobre los factores causantes del deterioro, y hacer un adecuado manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos marinos y costeros.

Con el propósito de dar continuidad a la alianza estratégica entre la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) y el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), se suscribió el Convenio interadministrativo No. 008 de 2023 que tiene como objetivo *“generar herramientas técnico-científicas que soporten la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico– CRA en la zona costera del departamento del Atlántico”*. Este proyecto busca generar información técnico-científica de la zona costera para fortalecer las herramientas de gestión ambiental de la corporación, y mantener actualizado el diagnóstico de la calidad del recurso hídrico marino y costero del departamento del Atlántico bajo el programa de la “Red de Vigilancia para la conservación y protección de la calidad de las aguas marinas y costeras – “REDCAM”. Además, se determinó la ubicación, extensión y estado actual del ecosistema de pastos marinos en Puerto Velero, incluyendo los factores de deterioro y recomendaciones para mitigar los impactos potenciales presentes; y se hizo seguimiento a la erosión costera en la Ciénaga de Mallorquín.

El presente informe contiene los resultados de las actividades técnicas desarrolladas en el proyecto 2023 relacionadas con la calidad de las aguas marinas y costeras, la condición actual del ecosistema de pastos marinos en Puerto Velero y la evolución de la erosión costera en la Ciénaga de Mallorquín para dar cumplimiento los productos entregables del Convenio.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

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

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento del Atlántico, incluyendo microplásticos en arenas de playas turísticas priorizadas y mantener operativo el nodo CRA de la REDCAM, para el monitoreo de la calidad del agua y sedimentos marino-costeros.
- Determinar la ubicación, extensión y condición actual del ecosistema de pastos marinos en la ensenada de Puerto Velero, abordando los factores de degradación, impactos y recomendaciones para la prevención y protección ambiental.
- Evaluar los cambios de la línea de costa y dinámica geomorfológica en la ciénaga de Mallorquín.

3 RESUMEN ACTIVIDADES DESARROLLADAS

A continuación, se presenta el resumen de las actividades realizadas en el marco del convenio de cooperación 008 de 2023 (Tabla 3-1).

Tabla 3-1. Resumen del avance de las actividades desarrolladas durante la ejecución del Convenio 008 de 2023

COMPONENTE	ACTIVIDADES	PRODUCTOS	AVANCE (%)	DESCRIPCIÓN BREVE DEL AVANCE
Monitoreo REDCAM	Realizar salida de campo para tomar variables <i>in situ</i> y recolectar muestras de agua y de sedimentos Mediciones de basura marina y microplásticos.	Diagnóstico REDCAM con los resultados de calidad de aguas y sedimentos y microplásticos El sistema de información REDCAM actualizado Un funcionario de la CRA capacitado en el curso taller REDCAM 2023	100%	La salida de campo se realizó entre el 25 y el 27 de septiembre de 2023, por personal del INVEMAR con acompañamiento de personal de la CRA. En cada una de las estaciones REDCAM, se midieron variables <i>in situ</i> y se recolectaron muestras de agua, sedimentos, basura marina y microplásticos en arena de playa, las cuales fueron transportadas al LABCAM de INVEMAR para realizar los análisis (Anexo 1, Anexo 2, Anexo 3).
	Realizar los análisis en laboratorio del agua y sedimentos recolectados		100%	Se analizaron las muestras de agua, sedimentos, basura marina y microplásticos en el LABCAM
	Actualizar la base de datos y servicios Web del sistema de información de la REDCAM		100%	Se actualizó la base de datos del sistema de información de la REDCAM, con los resultados de los muestreos de calidad de agua y sedimentos en el departamento del Atlántico realizados en septiembre de 2023 (Anexo 4)
	Elaborar el capítulo diagnóstico REDCAM, incluyendo microplásticos y el reporte del ICAM.		100%	Se presentó el análisis de información en el informe diagnóstico del departamento del Atlántico.
Ecosistema de pastos marinos en la ensenada de Puerto Velero	Realizar el levantamiento de información en campo en Puerto Velero	Capítulo con la condición actual de los pastos marinos en la ensenada de Puerto Velero y recomendaciones	100%	Se realizó la salida de campo entre el 7 y 10 de octubre
	Recopilar y analizar información primaria y secundaria		100%	Se recopiló la información secundaria y de campo la cual se analizó y se produjo el informe técnico
	Identificar factores de degradación y plantear recomendaciones para la prevención y protección ambiental del ecosistema de pastos		100%	Se identificaron los factores de degradación en la zona y se plantearon recomendaciones para la prevención y protección ambiental del ecosistema de pastos marinos

COMPONENTE	ACTIVIDADES	PRODUCTOS	AVANCE (%)	DESCRIPCIÓN BREVE DEL AVANCE
	Realizar análisis de la información para la actualización cartográfica		100%	Producto cartográfico desarrollado
Seguimiento a la erosión costera y cambios geomorfológicos en la ciénaga de Mallorquín.	Recopilar y analizar información primaria y secundaria.	Capítulo con el seguimiento a los cambios de la línea de costa y dinámica geomorfológica en la ciénaga de Mallorquín.	100%	Se realizó la revisión documental de boletines, informes y artículos relación la geología, geomorfología y evolución de línea de costa en el área de la Ciénaga de Mallorquín y sus alrededores.
	Generar el estado del arte de la erosión costera.		100%	Se realizó informe con base en las características geológicas, geomorfológicas identificadas con relación a la erosión costera en el área de la ciénaga de Mallorquín
	Extraer las líneas de costa.		100%	Se extrajeron las líneas de costas presente en el área de la ciénaga de Mallorquín en un periodo de 22 años, fuente: LANDSAT 5, 7 y 8.
	Procesar las líneas de costa.		100%	Por medio de la herramienta DSAS, fueron procesadas, calculadas y analizadas las tasas de erosión y acreción presente en el área de la ciénaga de Mallorquín y la flecha litoral al norte de puerto Mocho.
	Elaborar informes técnicos		100%	Se realizaron los informes técnicos de avance y final incluyendo el seguimiento a los cambios de la línea de costa y dinámica geomorfológica en la ciénaga de Mallorquín.

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

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

4.1 ÁREA DE ESTUDIO

Para mantener actualizado el diagnóstico de calidad de aguas y sedimentos marino-costeros del departamento del Atlántico, en el marco de la REDCAM, se llevó a cabo la salida de campo entre el 25 y 27 de septiembre de 2023. Se ejecutó el plan de muestreo en las 18 estaciones (puntos de muestreo) ubicadas en tres zonas de la franja marina-costera de los municipios de Piojó, Juan Acosta, Tubará y Puerto Colombia y en la zona del río Magdalena que va desde Dársena Barranquilla hasta Bocas de Ceniza (Figura 4-1).

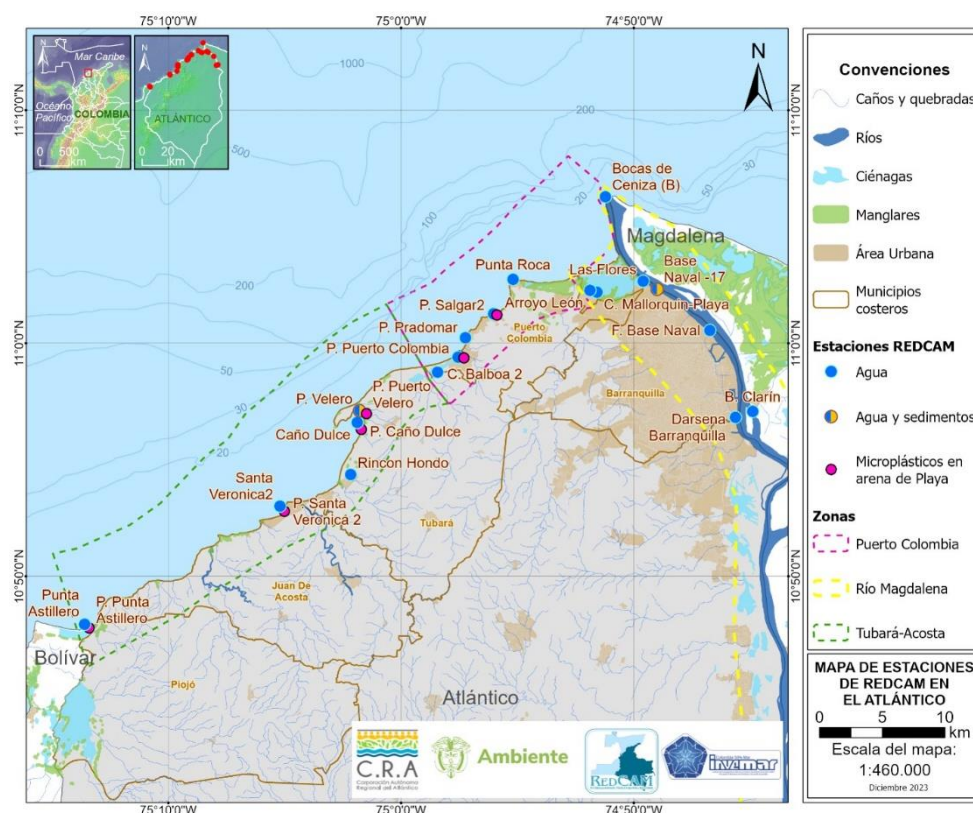


Figura 4-1. Ubicación de las estaciones de muestreo de REDCAM del departamento de Atlántico. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo definidas para la REDCAM. Fuente: Laboratorio de Servicios de Información – INVEMAR.

4.2 METODOLOGÍA

4.2.1 Calidad de aguas y sedimentos

4.2.1.1 Fase de campo

En cada estación se midieron variables *in situ* (temperatura, pH, salinidad, conductividad, transparencia porcentaje de saturación de oxígeno y oxígeno disuelto) (Tabla 4-1), y se recolectaron muestras de agua superficial para la determinación de variables fisicoquímicas, microbiológicas, metales pesados y contaminantes orgánicos; así como muestras de sedimento en las estaciones Puerto Velero y Base Naval - 17 para la determinación de carbono orgánico total, granulometría, metales y contaminantes orgánicos (Figura 4-2 A y B) (Anexo 4). Además, se tomaron muestras de basura marina y microplásticos en la arena de 6 playas turísticas en las estaciones Punta Astillero, Santa Verónica, Caño Dulce, Puerto Velero, Puerto Colombia y playa Salgar (Figura 4-2 C y D; Tabla 4-2), siguiendo las metodologías de [Hidalgo-Ruz et al. \(2018\)](#) y [Garcés-Ordóñez et al. \(2021\)](#).

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

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
Fisicoquímicos	Salinidad	Electrométrico	g/L	APHA et al., 2017 (N° 2520-B)
	Conductividad	Electrométrico	mS/cm	APHA et al., 2017 (N° 2510-B)
	pH	Potenciométrico	Unidad	APHA et al., 2017 (N° 4500-H B)
	Oxígeno disuelto	Membrana permeable	mg/L	ISO 17289:2014
	Temperatura	Electrométrico	°C	APHA et al., 2017 (N° 2550 B)
	Transparencia Secchi	Disco Secchi	m	Garay et al., 2003



Figura 4-2. Actividades de muestreo realizadas en la salida de campo REDCAM Atlántico. Recolección de muestras en Rincón Hondo (A), mediciones de parámetros *in situ* en Punta Roca para el análisis de calidad de aguas (B),

recolección de muestras para el análisis microplásticos y basura marina en playas (C y D). Fotos: Programa CAM – INVEMAR.

Tabla 4-2. Coordenadas de referencia del cuadrante central (cuadrante 3) ubicado en las playas priorizadas del departamento del Atlántico para determinar el estado de contaminación de basura marina y microplásticos.

Estación	Latitud N	Longitud W
Playa Punta Astillero	10°47'46.7"	75°13'24.6"
Playa Santa Verónica	10°52'47.3"	75°05'01.0"
Playa Caño Dulce	10°56'17.9"	75°01'42.6"
Playa Puerto Velero	10°57'04.0"	75°01'45.1"
Playa Puerto Colombia	10°59'26.5"	74°57'30.2"
Playa de Salgar	11°01'14.9"	74°56'02.0"

4.2.1.2 Análisis de laboratorio

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

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

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
Fisicoquímicos	Sólidos Suspendidos Totales	Gravimetría	mg/L	APHA et al., 2017 (N° 2540-D)
	Amonio, Nitritos, Nitratos, Fosfatos	Colorimetría	µg/L	Strickland y Parsons 1972
	Silicatos	Espectrofotométrico	µg/L	UNESCO/COI, 1983
	Clorofila a	Método tricromático por Espectrofotometría	µg/L	APHA et al., 2017 (N° 10200 H)
	Fósforo total	Digestión con persulfato de potasio y cuantificación colorimétrica de ácido ascórbico	µg/L	Strickland y Parsons 1972 APHA et al., 2017 (N° 4500-P B)
	COT	Combustión catalítica y determinación por analizador de carbono total	mg/L	APHA et al., 2017 (N° 5310 B)
	Granulometria	Método gravimétrico dispersión con hexametafosfato de sodio y cribado en tamices	%	Dewis y Freitas, 1984
	COT	Oxidación seca de carbono y cuantificación por analizador de carbono TOC	%	ISO 11464:2006 NTC 5403 A

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
Plaguicidas organoclorados	Hexaclorociclohexano total, Aldrín, Heptacloro, Organoclorados totales, Sumatoria DDT y sus metabolitos	Extracción líquido-líquido con diclorometano y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM	ng/L	EPA 3510C, EPA 3620C, EPA 8270E
Plaguicidas de uso actual	Diuron, Diazinon, Clorotalonil, MetilParation, Bromacil, Clorpirifos, Fenamifos, Cis-Permetrina y trans-Permetrina,	Extracción líquido-líquido con diclorometano y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM	ng/L	EPA 3510C, EPA 3620C, EPA 8270E
Hidrocarburos	Hidrocarburos aromáticos disueltos y dispersos	Extracción líquido-líquido con diclorometano y determinación fluorométrica.	µg/L	UNESCO/COI, 1984
Metales	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	APHA et al., 2017 (N° 3030-B, 3111-C)
	Totales (Cadmio, Cobre, Hierro, Níquel, Plomo, Zinc, Cromo)	Digestión asistida por microondas y cuantificación por espectrometría AA llama	µg/g	SW 846 rev 0, 1996 (EPA 3052) APHA et al., 2017 (N° 3111 B)
	Mercurio	Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica.	µg/L	SW 846 rev 0, 2007 (EPA 7473)
	Mercurio Total	Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica.	ng/g	SW 846 rev 0, 2007 (EPA 7473)
	Cromo hexavalente	Colorimetría	µg/L	APHA et al., 2017 (N° 3500-Cr B)
Microbiológicos	Coliformes Totales	Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL	APHA et al., 2017 (N° 9221 B)
	Coliformes Termotolerantes	Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL	APHA et al., 2017 (N° 9221 E)
	Enterococos fecales, <i>E. coli</i>	Filtración por membrana	UFC/ 100 mL	APHA et al., 2017 (N° 9230) APHA et al., 2017 (N° 9221) ISO 7899:2:2000

4.2.2 Basura Marina y microplásticos

La basura marina (macrobasura) recolectada en arena superficial, se caracterizó y clasificó en las categorías: plástico, metal, vidrio, papel-cartón y otros ([OSPAR, 2010](#)) (Anexo 2). Las muestras de arena de playa para microplásticos se pesaron y se secaron a una temperatura entre 50 - 60°C durante 48 horas. Una vez seca las muestras, se determinó el peso seco y se tamizaron a través de tamices de 5, 1 y 0,5mm. El material retenido en los tamices de 1 y 0,5mm se depositó en una caja Petri previamente tratada y se identificaron visualmente bajo el estereoscopio los microplásticos (entre 1 y 5mm); se hizo la descripción cualitativa según su origen primarios o secundarios y según su forma, pellet, fragmento, filamento, película, espuma, mediante identificación visual bajo el estereoscopio ([Kovač et al., 2016](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2020](#)) (Anexo 3). La cantidad de basura marina y microplásticos fueron expresadas en ítems/m².

4.2.2.1 Análisis de datos

Con el propósito de evaluar los cambios de las condiciones de calidad de aguas superficiales marinas y costeras del departamento del Atlántico, se realizó un análisis estadístico de los datos REDCAM de 2001 a 2023, en función de la ubicación de las estaciones con destinación para la preservación de la fauna y flora y usos recreativos. Adicionalmente, otras variables de calidad de agua y sedimentos se analizaron teniendo en cuenta los criterios de calidad descritos en el Decreto 1076 de 2015 ([MinAmbiente, 2015](#)) para las variables que están reglamentadas y con valores de referencias descritos en guías internacionales y en la bibliografía científica.

El ICAM se puede aplicar para aguas marinas y estuarinas, para lo cual se han definido las variables de acuerdo con el tipo de agua (Tabla 4-4) y representan según sus valores de aceptación o rechazo una calidad o condición del agua en función de los criterios de calidad nacionales o de valores de referencia internacionales para la preservación de la flora y fauna ([Vivas-Aguas et al., 2022a](#)).

Tabla 4-4. Variables para el cálculo del ICAM de acuerdo al tipo de agua. Fuente: Elaboración propia.

Agua marina	Agua estuarina
1. Oxígeno Disuelto (OD)	1. Oxígeno Disuelto (OD)
2. pH	2. pH
3. Nitratos (NO ₃ ⁻)	3. Nitratos (NO ₃ ⁻)
4. Ortofosfatos (PO ₄)	4. Ortofosfatos (PO ₄)
5. Sólidos Suspendidos Totales (SST)	5. Sólidos Suspendidos Totales (SST)
6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
7. Coliformes Termotolerantes (CTE)	7. Coliformes Termotolerantes (CTE)
8. Hidrocarburos del petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de Criseno (HPDD)	8. Clorofila a (CLA)

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

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

Donde,

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

m = cantidad de variables

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

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

$$ICAM =$$

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

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

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

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

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

Ecuación 2

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

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

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

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

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

de Carbono Orgánico Total (COT) por estación y año, representado los valores en gráficos de barras. Para el análisis de los resultados de basura marina y microplásticos, se analizaron los datos obtenidos, se realizó un comparativo con los resultados históricos presentes en los lugares de muestreo, y una revisión bibliográfica sobre los microplásticos estudiados en playas del Caribe colombiano, con el fin de comparar el estado de contaminación de las estaciones de muestreo de la REDCAM con otras playas turísticas del Caribe.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Calidad de aguas marinas y costeras

Generalidades de campo

Según lo planificado para la salida de campo del 25 de septiembre de 2023, la toma de muestra en la estación Ciénaga Balboa estaba definida en las coordenadas históricas 10° 58' 45,84"N - 74° 58' 26,04"O. Sin embargo, de acuerdo con la información brindada por el funcionario y supervisor de la CRA del convenio, Efraín Leal, las dinámicas ambientales para esta estación variaron, ya que no había presencia de la barra arenosa permeable que contribuyera y regulara el intercambio de flujos de agua procedentes del mar. Durante la salida de campo, fue posible corroborar esta situación (Figura 4-3 A); por lo cual se realizó un recorrido por la zona con el funcionario de la CRA para identificar y definir de manera conjunta el punto para la toma de muestra. Con base en lo anterior, la muestra fue recolectada hacia el suroeste aproximadamente a 1,1 km lineal de la estación Ciénaga Balboa en las coordenadas 10° 59' 5,46"N - 74° 57' 56,10"O y fue definida una nueva estación de muestreo que represente a Ciénaga Balboa, denominándola como Ciénaga Balboa 2 (Figura 4-3 B; C; D).

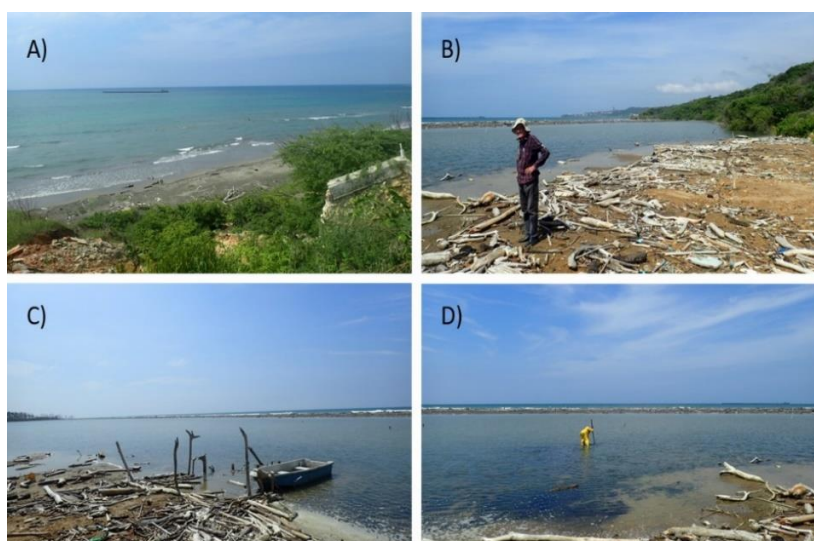


Figura 4-3. Actividades de muestreo realizadas en la Ciénaga Balboa. Evidencia de la ausencia de la barra arenosa en la antigua estación Ciénaga Balboa (A), Zona de la Ciénaga Balboa donde se recolectó la muestra de agua (B y C), toma de muestra en la estación redefinida en campo en la Ciénaga Balboa (D).

Análisis de información

Considerando la clasificación de las aguas por los valores de salinidad propuesto por [Knox 2001](#); se determinó que entre los años 2001 y 2023 el 53% de estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico correspondió a agua marina, el 35% a agua dulce, 6% a aguas estuarinas y 6% a agua salmuera (Figura 4-4).

El análisis histórico de salinidad en las estaciones del departamento del Atlántico mostró una clasificación de agua dulce para las estaciones B. Clarín, Base Naval -17, Boca de Ceniza (B), Darsena Barranquilla, F. Base Naval y Las Flores en la zona del río Magdalena; las estaciones de Arroyo León y C. Mallorquín-Playa se clasificaron como agua estuarina y agua marina respectivamente. Las estaciones ubicadas en las zonas de Puerto Colombia y Tubará – Acosta, fueron clasificadas como agua marina, con excepción de la estación C. Balboa 2, la cual fue monitoreada por primera vez en septiembre de 2023. Cabe mencionar que, la estación de Rincón Hondo se clasificó como tipo de agua salmuera, lo cual ha sido recurrente desde el año 2014 ([INVEMAR-CRA, 2023](#)).

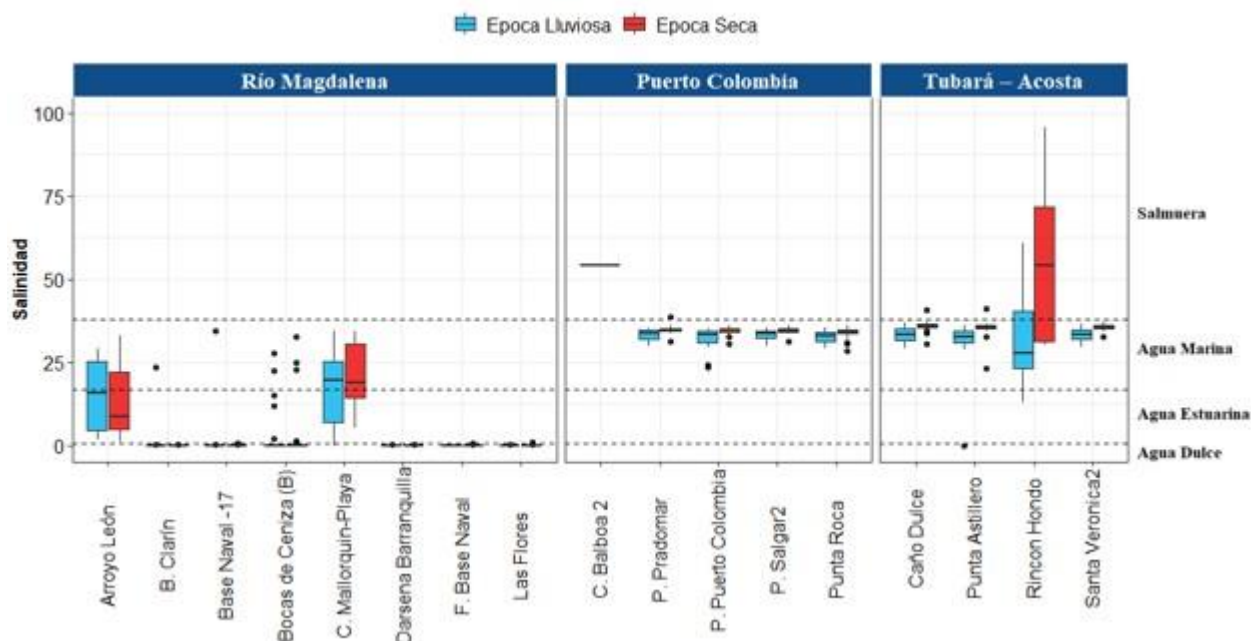


Figura 4-4. Variación histórica (2001- 2023, sin año 2020) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM del departamento de Atlántico, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los rangos de los datos.

los valores mínimo y máximo. El ancho de la caja es proporcional al número de datos. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).

A partir de los muestreos realizados en septiembre de 2023 (época seca), se calculó el ICAM para la preservación de flora y fauna en 9 estaciones del departamento del Atlántico, estaciones que cumplían con los criterios para aplicar el ICAM en aguas marinas y estuarinas ([Vivas-Aguas et al., 2022a](#)). De las 9 estaciones evaluadas, el 44% estuvieron en calidad adecuada, un 22% en calidad aceptable y un 22% en calidad inadecuada y 11% en calidad pésima. El análisis reveló que las estaciones C. Mallorquín, Punta Roca y P. Salgar presentaron calidad adecuada y aceptable, evidenciando una mejoría con respecto al muestreo del año 2022 en época seca, las cuales se encontraron en calidad inadecuada y pésima ([INVEMAR-CRA, 2023](#)). Mientras que la calidad pésima se presentó en la estación Arroyo León, y la calidad inadecuada se presentó en las estaciones Bocas de Ceniza y Ciénaga Balboa 2 (Figura 4-5).

Las estaciones que presentaron calidad pésima e inadecuada se deben a las altas concentraciones de nitratos, ortofosfatos y CTE, asociados a descargas de aguas residuales, agricultura y turismo que son las principales causas de contaminación en la zona costera del departamento ([Vivas-Aguas et al., 2015](#)). Además, la calidad ambiental marina se ve influenciada por la baja cobertura del sistema de alcantarillado en la zona de Tubará – Acosta, con algunos municipios que carecen de acueducto ([Superservicios, 2020](#)), sin dejar de un lado la incidencia del río Magdalena que arrastra altas cargas contaminantes. Es necesario tomar medidas de manejo para disminuir el impacto de las fuentes de contaminación presentes en el área costera que contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas.

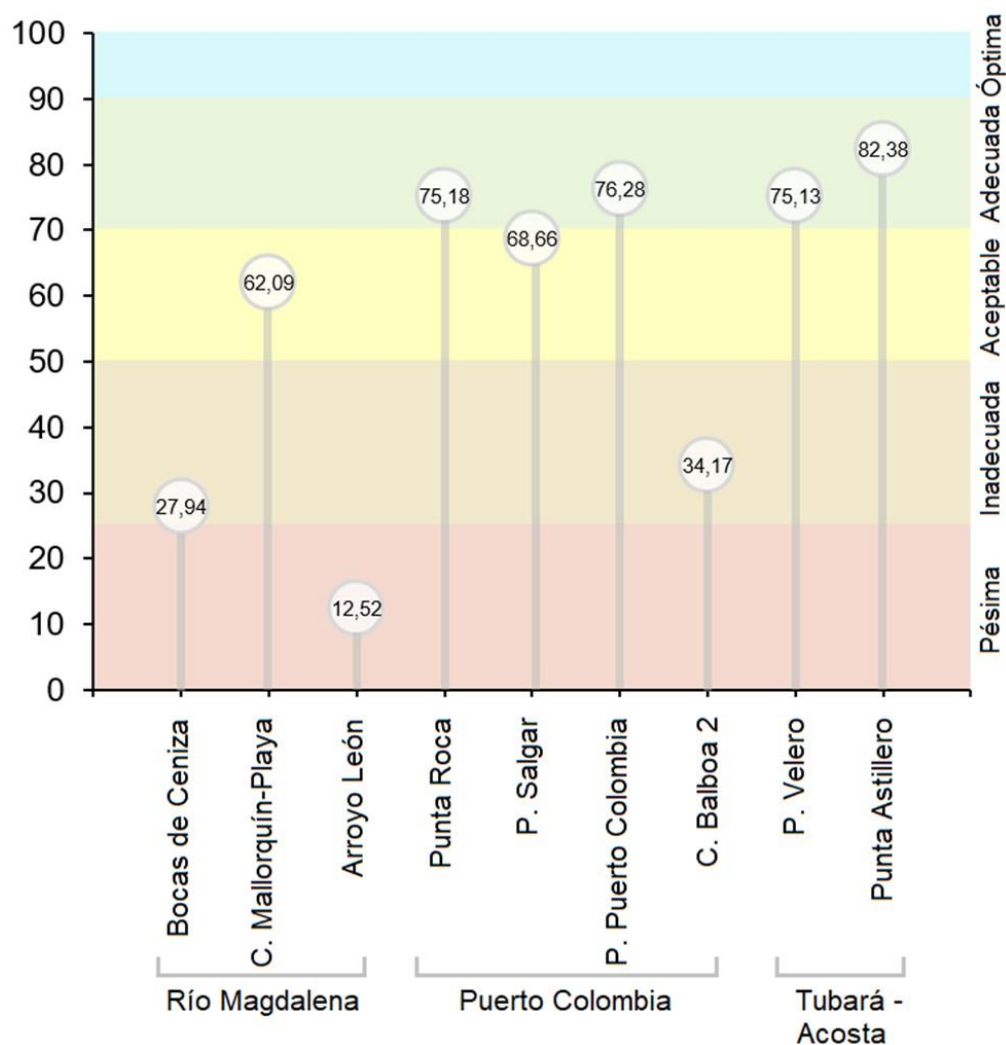


Figura 4-5. Calidad de agua superficial ICAMPFF para época seca (muestreo en septiembre) del 2023, en las estaciones marinas y costeras del departamento del Atlántico.

Las concentraciones de carbono orgánico total (COT) en las estaciones ubicadas en la zona del río Magdalena, Puerto Colombia y Tubará - Acosta fluctuaron entre 2,4 a 26,2 mg/L en la época seca (Figura 4-6). Las concentraciones más altas se registraron en las estaciones Rincón Hondo (17,8 mg/L), Santa Verónica 2 (22,5 mg/L) y en C. Balboa 2 (26,2 mg/L), ubicadas en la zona de Tubará-Acosta y Puerto Colombia, estas estaciones presentan vegetación de manglar en distinto grado de desarrollo, siendo más abundante en C. Balboa 2 ([Sánchez et al., 2019](#)) y bajo presiones de tala y loteo en las estaciones Rincón Hondo y Santa Verónica 2 ([López-Rodríguez & Sierra-Correa, 2005](#)). Estas altas concentraciones de COT pueden estar asociadas a la descomposición de materia orgánica procedente de la vegetación de manglar presente en las estaciones y así mismo, a la proximidad a centros urbanos (e.g. cercanía de Puerto Colombia a la estación C. Balboa 2), que puede influir en la deposición de residuos sólidos y vertimientos

por usos domésticos e industriales incrementando la carga orgánica en los sistemas. Se observó un incremento de las concentraciones de COT en todas las estaciones con respecto a los valores reportados en el 2022 (<3,0 mg/L, con excepción de Rincón Hondo con 18 mg/L) para la época seca ([INVEMAR, 2022](#)); especialmente en las estaciones de Arroyo León y Santa Verónica 2.

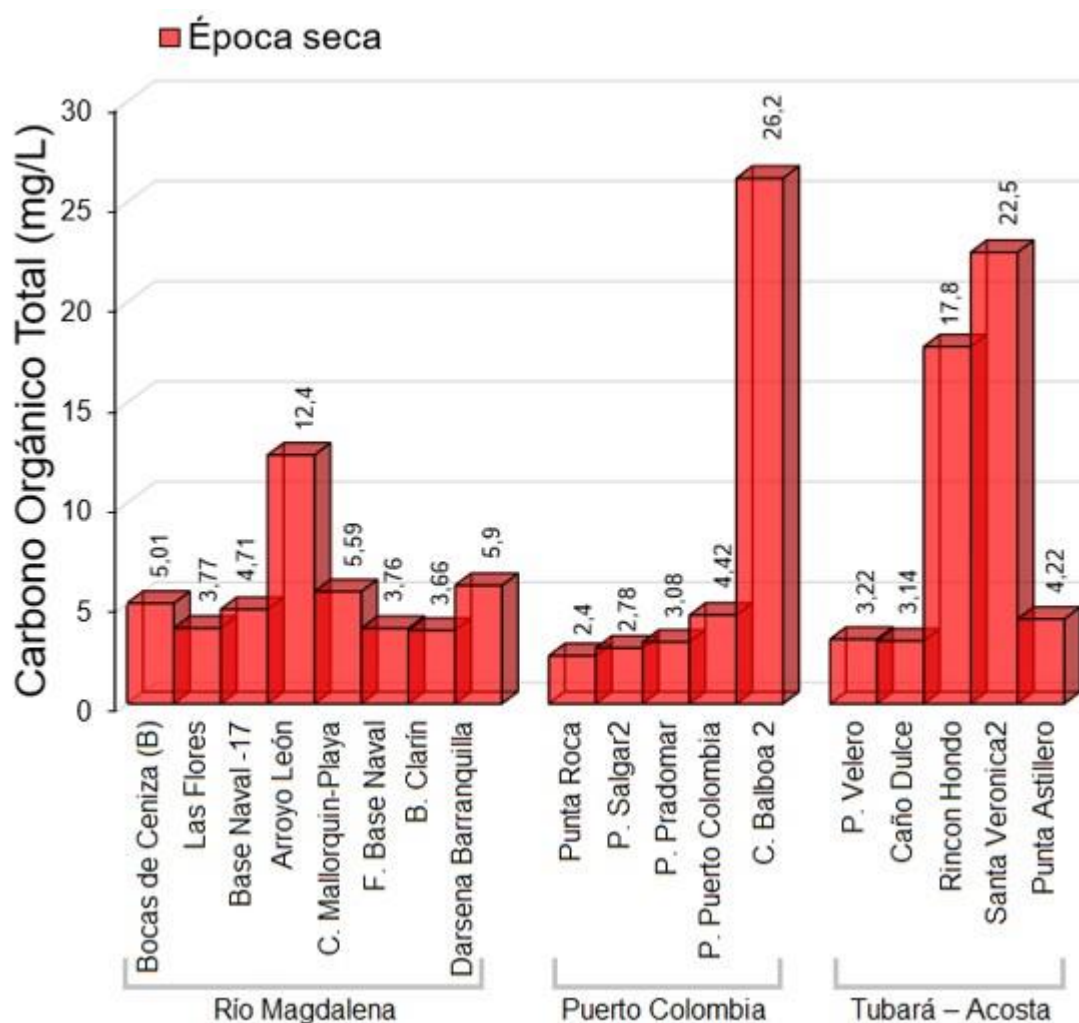


Figura 4-6. Carbono orgánico total (COT) de las muestras de agua recopiladas en época seca (muestreo en septiembre) del 2023 en el departamento del Atlántico.

La concentración de Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de Criseno (HPDD) fluctuó entre valores < 0,2 µg/L y 1,4 µg/L (Figura 4-7) en las estaciones de Rincón Hondo, P. Velero, Bocas de Ceniza (B), Las Flores, F. Base Naval, C. Mallorquín-Playa, Arroyo León, P. Puerto Colombia y Punta Roca. El valor máximo de HPDD se presentó en la estación Caño Dulce (1,4 µg/L). Las 5 estaciones restantes presentaron concentraciones por debajo del límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM (<0,075 µg/L). En ninguna de las estaciones,

estas concentraciones de HPDD superaron el límite de referencia para aguas costeras con contaminación baja ($>5 < 10 \mu\text{g/L}$) y de aguas marinas contaminadas ($>10 \mu\text{g/L}$) (Zanardi *et al.*, 1999; Acuña-González *et al.*, 2004). Cabe mencionar que, históricamente las concentraciones más altas de HPDD se han registrado en la zona del río Magdalena, principalmente en las estaciones F. base Naval, las Flores y Bocas de Cenizas debido a la alta actividad portuaria en el río (INVEMAR, 2018). Desde el 2015 al 2022 los valores de HPDD han oscilado entre $0,075 \mu\text{g/L}$ a $10,4 \mu\text{g/L}$ (INVEMAR, 2020), por lo que los registrados en el presente monitoreo, se encuentra dentro de los reportados anteriormente.

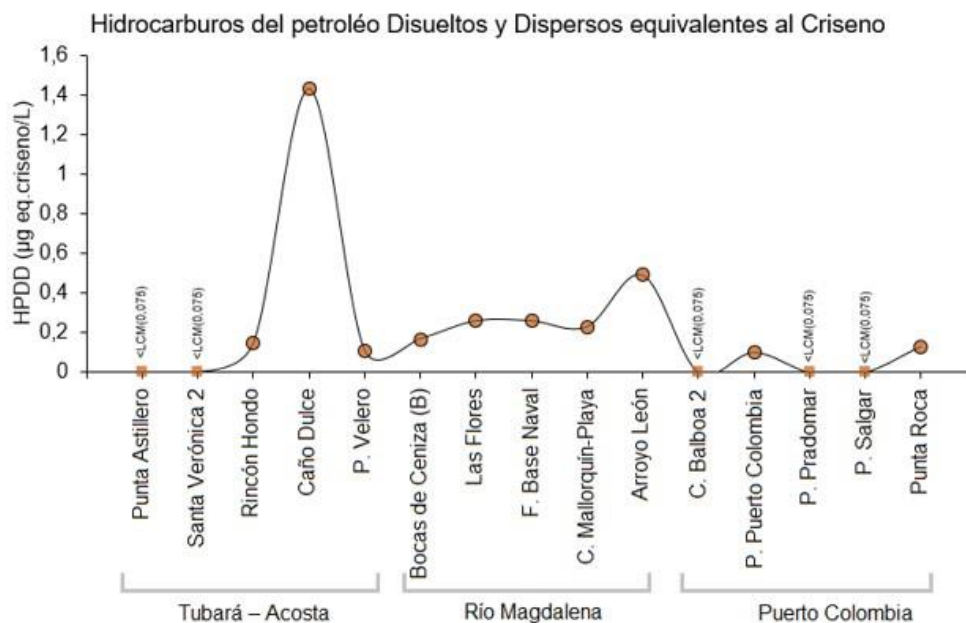


Figura 4-7. Concentración de Hidrocarburos del petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de Criseno (HPDD) en el agua superficial de las estaciones del departamento del Atlántico durante los muestreos entre el 25 al 27 de septiembre de 2023.

4.3.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

El incremento de las actividades antrópicas en zonas costeras en los últimos años genera la necesidad de examinar la calidad de aguas destinadas al turismo y a la recreación con el fin de dimensionar las amenazas en los ecosistemas marinos y costeros y a su vez perfilar medidas de manejo para disminuir los riesgos en la salud de las personas (Moscarella *et al.*, 2011). Para determinar la calidad de aguas de uso recreativo, se evaluó las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) con los valores de referencia de límites permisibles para uso recreativo de contacto primario establecidas en la legislación nacional $<200 \text{ NMP}/100\text{mL}$ de CTE, $<1.000 \text{ NMP}/100\text{mL}$ de CTT (MinAmbiente, 2015); y EFE contrastados con los valores de referencia internacional de $<100 \text{ UFC}/100\text{mL}$ (Unión-Europea, 2006).

Las estaciones de P. Puerto Colombia, P. Pradomar y P. Salgar 2 (Figura 4-8) registraron durante 2018-2022 niveles medios y bajos en concentraciones de CTE, CTT y EFE (con excepción de la estación P. Salgar 2 en el 2019 con altos niveles de CTT). Para el año 2023, se observó niveles de cumplimiento alto para estas estaciones, con excepción de P. Puerto Colombia y P. Pradomar para concentraciones de CTE donde se registró un nivel bajo. Cabe mencionar, que estas estaciones se encuentran expuestas a vertimientos de aguas residuales ([Gómez-Álvarez & Salcedo-Pabón, 2016](#)) y a su vez, el departamento del Atlántico recibe influencia de la desembocadura del río Magdalena que aporta cerca del 96% de la DBO₅ al Caribe colombiano, lo que conlleva a ser el principal vector de contaminación en materia orgánica ([Tous-Herazo et al., 2007](#)).

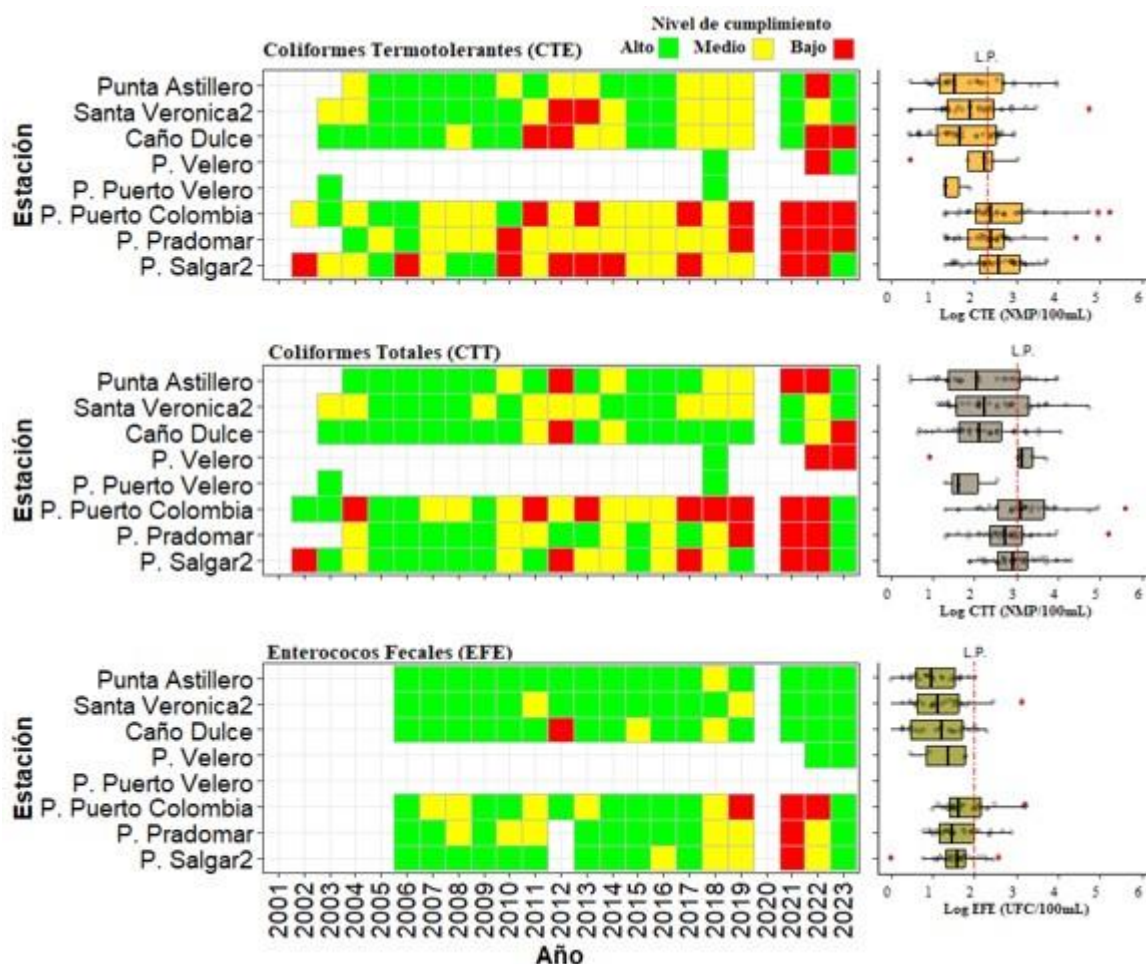


Figura 4-8. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Atlántico. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% ($\geq 50\% < 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible;

Bajo, cuando menos del 50% (<50%) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. LP: Límite Permisible.

Cabe destacar que durante el monitoreo de las estaciones REDCAM en septiembre 2023, la zona Tubará-Acosta presentó estaciones con concentraciones de CTE y CTT por debajo del límite permisible para uso recreativo de contacto primario establecidas en la legislación nacional <200 NMP/100mL de CTE, <1000 NMP/100mL de CTT ([MinAmbiente, 2015](#)) como Punta Astillero y Santa Verónica 2 (Figura 4-9); así mismo, presentó estaciones por encima del límite permisible por contacto primario (200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE como Caño Dulce y para CTT (1000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) como Rincón Hondo, Caño Dulce y P. Velero. Todas las estaciones ubicadas en la zona del río Magdalena presentaron concentraciones de CTE y CTT por encima del límite permisible por contacto primario; con excepción de la estación B. Clarín donde la concentración de CTT estuvo por debajo del límite permisible. En la zona de Puerto Colombia la mayoría de las estaciones presentó niveles permisibles de CTE y CTT, excepto P. Puerto Colombia y P. Pradomar para concentraciones de CTE y C. Balboa 2 para CTT.

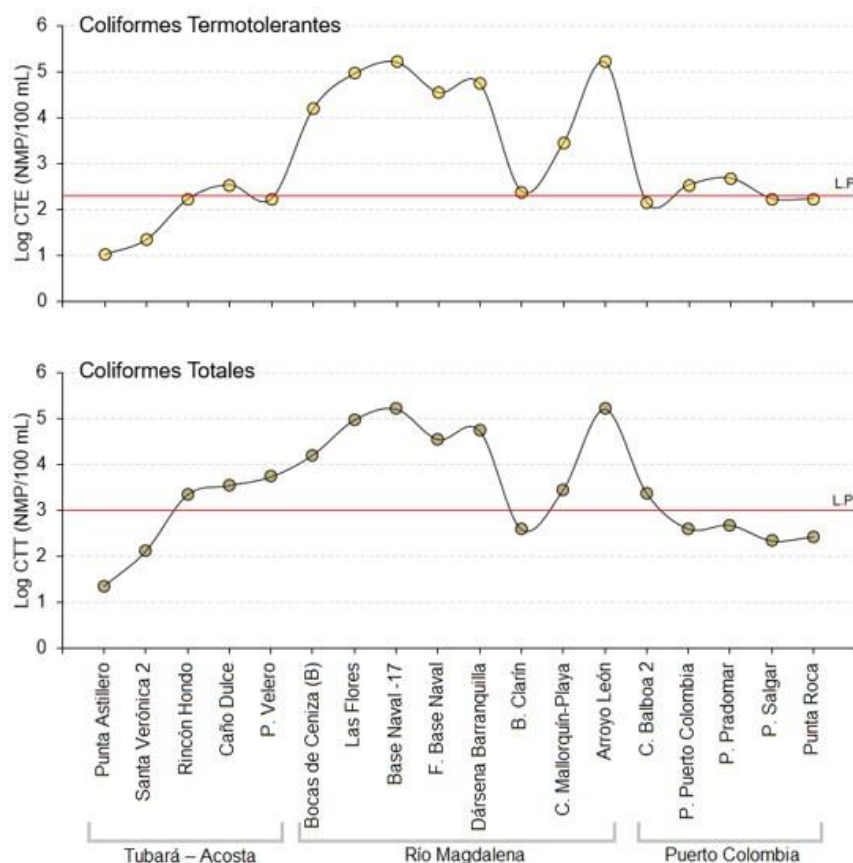


Figura 4-9. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Atlántico. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P.: Límite Permisible.

En todas las estaciones monitoreadas se registraron concentraciones de EFE por debajo del límite permisible propuesto por la Unión Europea (100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL; [Unión Europea, 2006](#)), no obstante, las estaciones de P. Velero y P. Puerto Colombia superaron el valor de referencia propuesto por la [OMS \(2003\)](#) de >40 UFC/100 que representa un riesgo >1% y de 0,3% de contraer enfermedades Gastrointestinales y Respiratoria Febril Aguda respectivamente (Figura 4-10). Estas concentraciones de Enterococos Fecales junto con el reporte para Coliformes Totales, son indicadores de contaminación fecal ([Manjarrez et al., 2019](#)); por lo tanto, se recomienda avanzar en la identificación de parásitos de importancia sanitaria en las estaciones monitoreadas que permitan proporcionar recomendaciones que contribuyan a mejorar el uso recreativo de las playas turísticas.

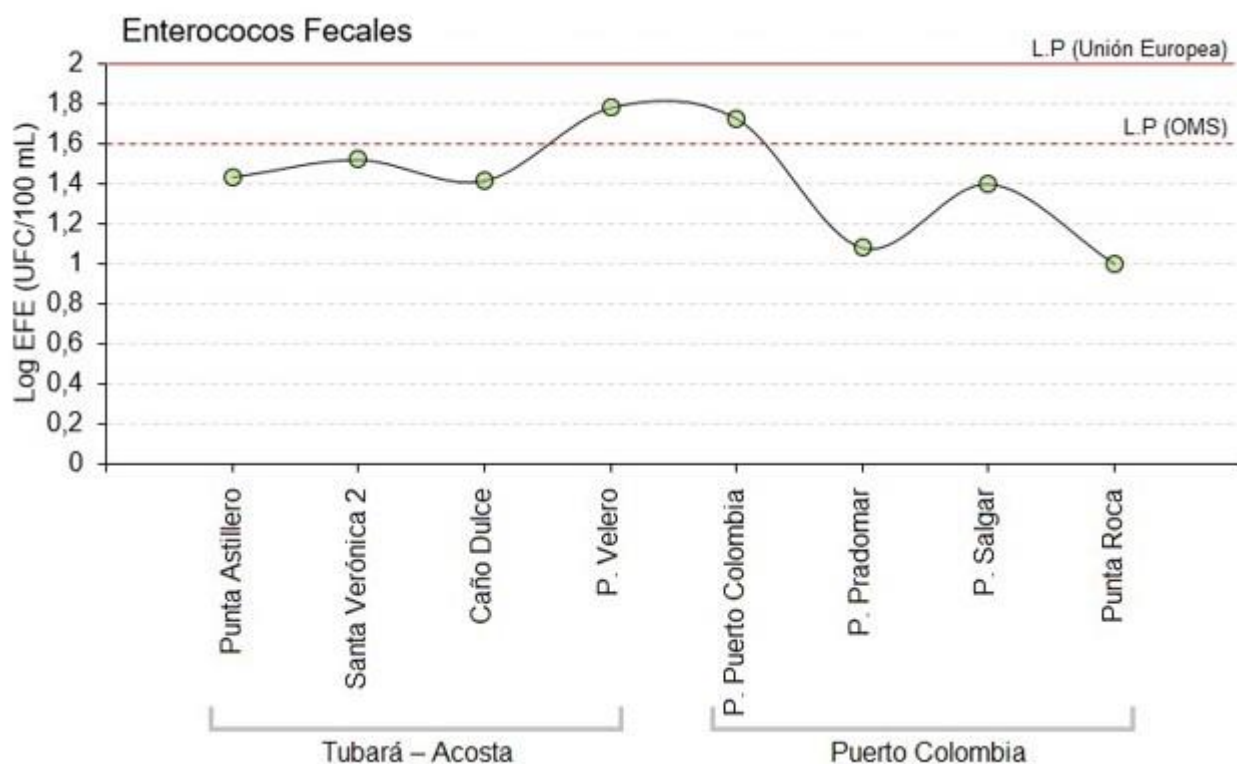


Figura 4-10. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Atlántico. Línea roja: valor de referencia el valor de referencia (límite permisible) 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL; Unión Europea_2006) y la línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL; [OMS, 2003](#)). L.P: Limite Permisible.

En relación a los metales disueltos en agua, en las estaciones Las Flores, F. Base Naval y Bocas de Ceniza (B) de la zona Río Magdalena que tienen características de agua dulce, se registraron concentraciones de zinc (Zn) entre 23 a 32,8 µg/L y hierro (Fe) entre 110 y 151 µg/L, registros que están por debajo del valor de referencia para efectos crónicos (>120 y >1.000 µg/L respectivamente; [Buchman, 2008](#)). Las concentraciones reportadas en el 2023 (época seca)

fueron mayores con respecto al año 2022 (época lluviosa) ([INVEMAR-CRA, 2023](#)). El resto de metales disueltos, mostraron valores que estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico empleado en el LABCAM (LABCAM (2,5 µg/L para Cd, 2,5 µg/L para Cu, 100 µg/L para Cr, 5 µg/L para Cr⁺⁶, 0,3 µg/L para Hg, 7,5 µg/L para Ni y 12,5 µg/L para Pb; Figura 4-11).

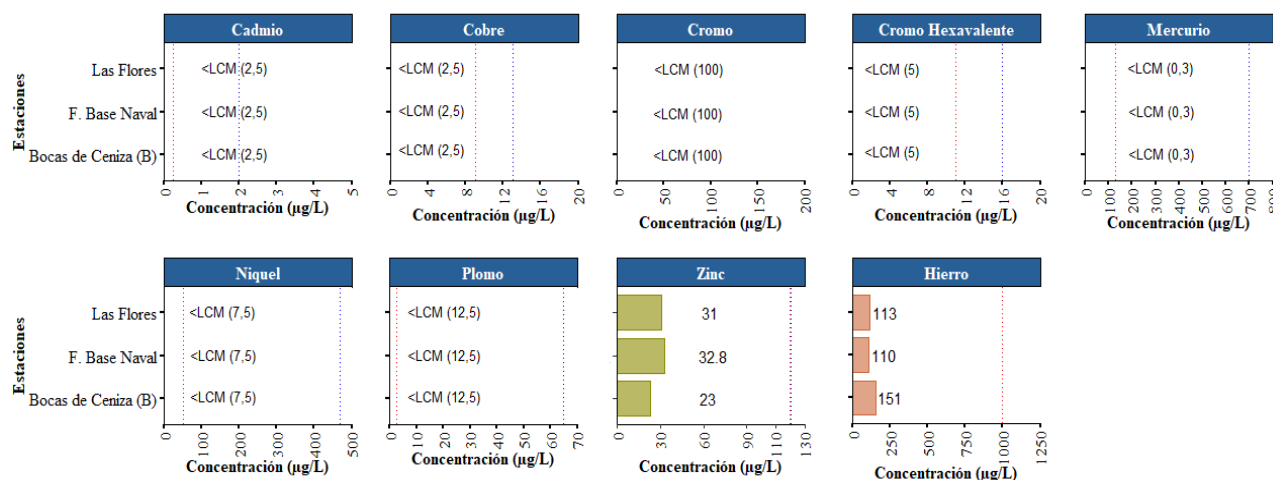


Figura 4-11. Concentración de metales disueltos en agua en las estaciones de agua dulce del departamento del Atlántico, colectadas en septiembre del 2023. Los valores de referencia para efectos crónicos y efectos agudos se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia para efectos crónicos y las de color azul para efectos agudos. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.

En cuanto a los metales disueltos en agua marina/estuarina, en las estaciones (Punta Roca, P. Velero, P. Pradomar, C. Mallorquín-Playa y Arroyo León), se presentaron concentraciones de zinc (Zn) por debajo del valor de referencia para efectos crónicos (>81 µg/L; [Buchman, 2008](#)). Asimismo, en las estaciones P. Pradomar, C. Mallorquín-Playa y Arroyo León se registraron valores de hierro (Fe) de 14,1, 15 y 99,6 µg/L respectivamente (Figura 4-12). Las concentraciones reportadas (época seca) fueron mayores a las registradas en el año 2022 (época lluviosa) ([INVEMAR-CRA, 2023](#)). Para el resto de metales disueltos en agua marina/estuarina en las demás estaciones, todos los valores estuvieron por debajo del límite de cuantificación empleado en el LABCAM (2,5 µg/L para Cd, 2,5 µg/L para Cu, 100 µg/L para Cr, 5 µg/L para Cr⁺⁶, 0,3 µg/L para Hg, 7,5 µg/L para Ni, 12,5 µg/L para Pb, 5 µg/L para Zn y 12,5 µg/L para Fe).

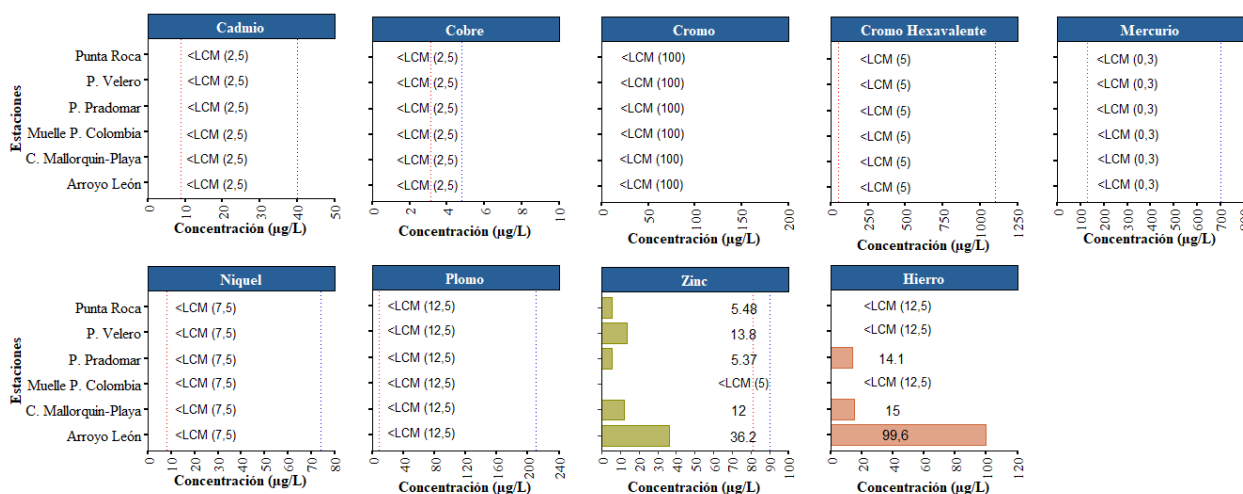


Figura 4-12. Concentración de metales disueltos en agua marina recopilados en septiembre del año 2023, en el departamento del Atlántico. Los valores de referencia para efectos crónicos y efectos agudos se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para agua marina. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia para efectos crónicos y las de color azul para efectos agudos. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.

Las mayores concentraciones de zinc y de hierro en la época seca podrían deberse a que el flujo de agua es menor y los metales presentes pueden estar menos diluidos, lo que resulta en concentraciones más elevadas y provoca la acumulación de los mismo en el agua (Edokpayi *et al.*, 2017). Sin embargo, se requiere de un análisis detallado de los factores naturales locales y actividades antrópicas para comprender y conocer las fuentes puntuales que son responsables de estas concentraciones.

4.3.3 Calidad de sedimentos

Los análisis de granulometría en las muestras de sedimento colectadas en la estación P. Velero, mostraron un contenido de 4,45% de Lodo y 95,43% de Arena (Figura 4-13). En base a la metodología de Folk y Ward (1957), la muestra de sedimento se clasificó como tipo Arena Fina, con un diámetro de partícula de 137,8 µm (Figura 4-14), contenido que ha presentado estas características en los últimos años (INVEMAR-CRA, 2023). En la estación Base Naval – 17, se presentó un contenido de 54,1% de Lodo y 45,7% de Arena, clasificando la muestra de sedimento como tipo Limo grueso, con un diámetro de partícula de 31,81 µm. Históricamente desde el año 2014 hasta el 2021, esta estación no había tenido cambios significativos en el tamaño medio del grano de sus sedimentos, oscilando con tamaños medio del grano menor a 63 µm (INVEMAR, 2022); sin embargo en el año 2022 se clasificó como tipo de Arena muy Fina, con un diámetro de partícula de 88,37 µm (INVEMAR-CRA, 2023), resultados que podrían verse influenciados por la temporada del muestreo, ya que el limo grueso se presenta a menudo en

áreas con aguas en reposo, provocando el asentamiento y acumulación de partículas finas que forman capas de limo ([Molina et al., 2018](#)).

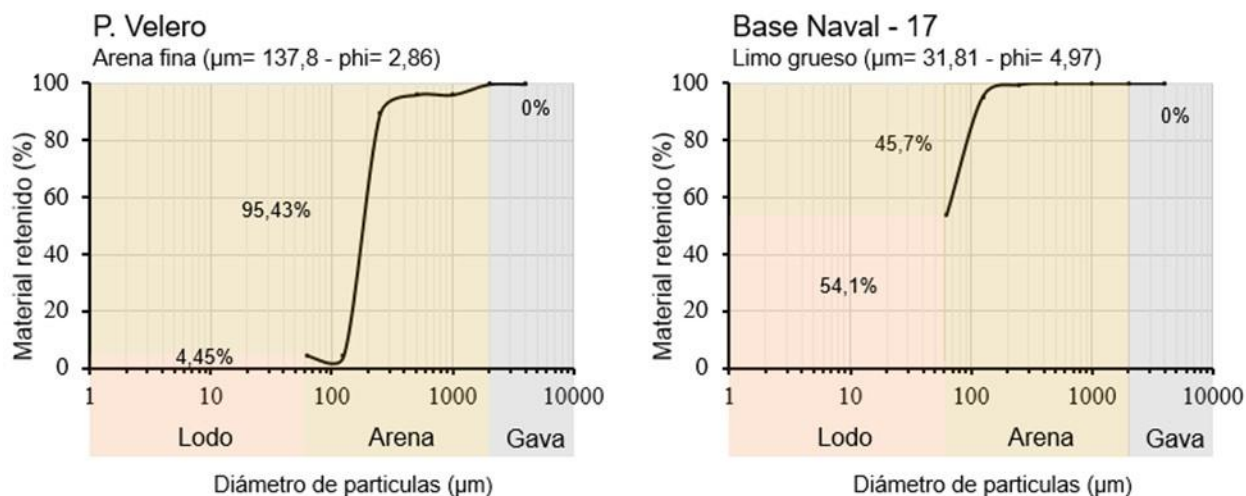


Figura 4-13. Curva granulométrica de las muestras de sedimentos recopiladas en el 2023 (septiembre), en la estación Puerto Velero y Base Naval-17 en el departamento del Atlántico.

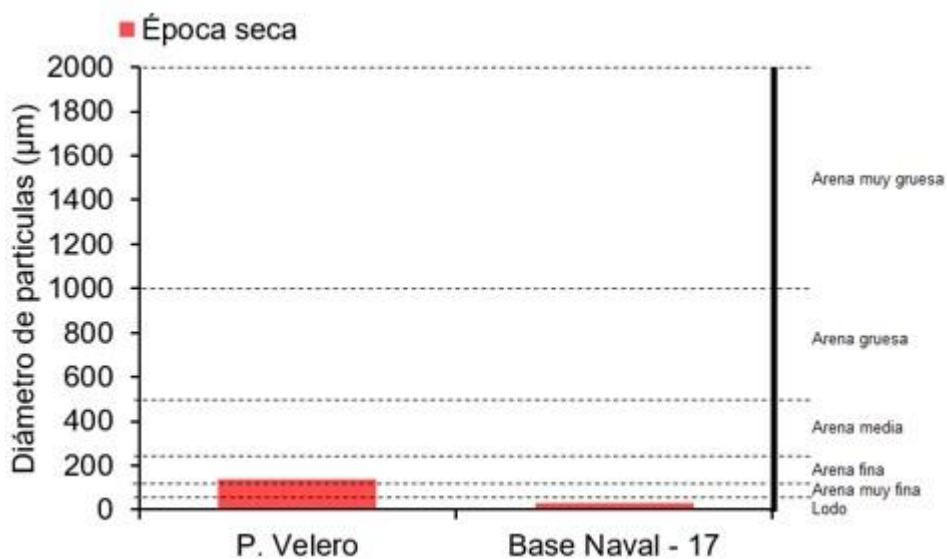


Figura 4-14. Tamaño medio de partícula del sedimento (μ_m) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en septiembre del año 2023, en el departamento del Atlántico. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de [Folk y Ward \(1957\)](#).

El contenido de Carbón Orgánico Total (COT) en la estación Base Naval – 17 fue de 0,95%; lo que se podría asociar a la descargas y arrastre de materia orgánica proveniente de residuos de actividades antrópicas, vegetales aportados por los árboles, vegetación sumergida y fitoplancton

(Calva *et al.*, 2006); mientras que la estación P. Velero estuvo por debajo del límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM de 0,1% para COT.

En cuanto a los metales totales en sedimentos marinos y fluviales, en el muestreo de septiembre del 2023 (época seca), las mayores concentraciones de cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), zinc (Zn) y hierro (Fe) se registraron en la estación Base Naval – 17 (Figura 4-15), con registros de 49,1 µg/g de cromo (Cr) y 127 µg/g de zinc (Zn), por encima de valor de referencia para efectos lumbral (TEL) (37,3 µg/g para Cr y 123 µg/g para Zn; [Buchman, 2008](#)) y 34,6 mg/g para el hierro (Fe), por el contrario, las concentraciones de cobre (Cu) 23,2 µg/g, cromo (Cr) 49,1 µg/g y mercurio (Hg) 69,5 ng/g estuvieron por debajo del valor de referencia para efectos lumbral (TEL). En la estación P. Velero, la concentración de cromo (Cr) 26,4 µg/g, mercurio (Hg) 29,5 ng/g y zinc (Zn) 50,6 µg/g estuvieron por debajo del valor TEL (18,7 para Cr, 130 ng/g para Hg y 124 µg/g para Zn; [Buchman, 2008](#)) y la concentración de hierro (Fe) fue de 14 mg/g (Figura 4-15). Mientras que las concentraciones de cadmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni) y plomo (Pb) estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM (12,5 µg/g para Cd, 5 µg/g para Cu, 25 µg/g para Cr, 75 µg/g para Ni y 15 µg/g para Pb).

Estas concentraciones han sido reportadas desde el año 2018, con niveles de cromo (Cr) entre 32,2 y 87,3 µg/g y de mercurio (Hg) entre 55,1 y 111 ng/g en la estación Base Naval – 17 ([INVEMAR-CRA, 2022](#)). Esta situación, se ha asociado con el transporte de sedimentos desde el río Magdalena a lo largo de su curso, el cual presenta un transporte de 94.376,2 kton/año ([IDEAM, 2019](#)). Sin embargo, al presentarse con recurrencia, es recomendable evaluar la disponibilidad de estos metales desde la cuenca alta hasta la desembocadura en Bocas de Ceniza, especialmente el cromo y zinc que estuvieron por encima del valor de referencia TEL de 37,3 µg/g para Cr y 123 µg/g para Zn ([Buchman, 2008](#)).

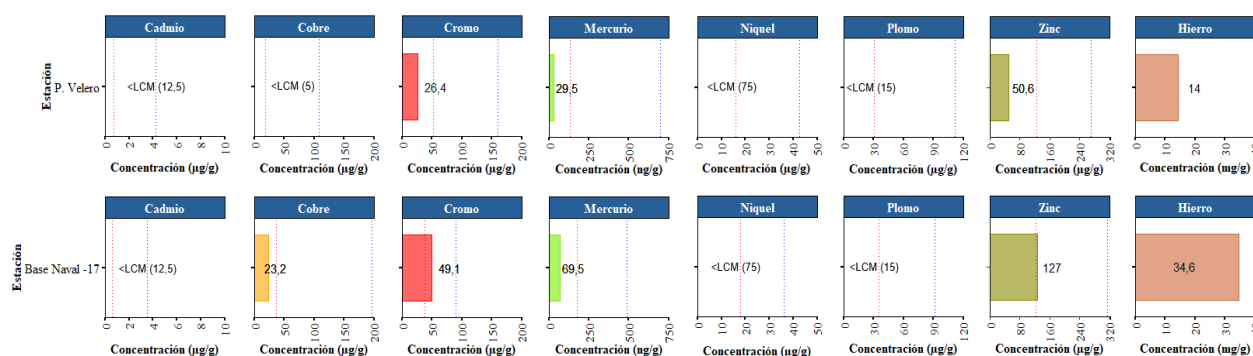


Figura 4-15. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos (P. Velero) y fluviales (Base Naval – 17) recopilados en septiembre de 2023 (época seca) en el departamento del Atlántico. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables ([Buchman, 2008](#)) para sedimentos marino/estuarino y fluviales. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.

4.3.4 Contaminación por basura marina y microplásticos en playas turísticas

La cuantificación y el análisis de la contaminación por basura marina y microplásticos se realizó para seis (6) playas turísticas del departamento del Atlántico; Punta Astillero, Santa Verónica, Caño Dulce, Puerto Velero, Puerto Colombia y Salgar muestreadas en septiembre de 2023.

Se observó la presencia de basura marina en todas las playas turísticas muestreadas, con abundancias que oscilaron entre 0,29 ítems/m² y 7,20 ítems/m². Las playas que obtuvieron mayores abundancias de basura marina correspondieron a Punta Astillero (7,20 ítems/m²), Santa Verónica (1,24 ítems/m²) y Salgar (1,04 ítems/m²) (Figura 4-16), lo cual está por debajo de lo reportado para el Atlántico en la época seca del año 2022, donde la abundancia de basura marina osciló entre 0,44 y 10,51 ítems/m², con la mayor abundancia en Punta Astillero ([INVEMAR, 2022](#)). Por otro lado, las playas que presentaron menores unidades de basura marina fueron las playas de Caño Dulce (0,44 ítems/m²) y Puerto Velero (0,29 ítems/m²).

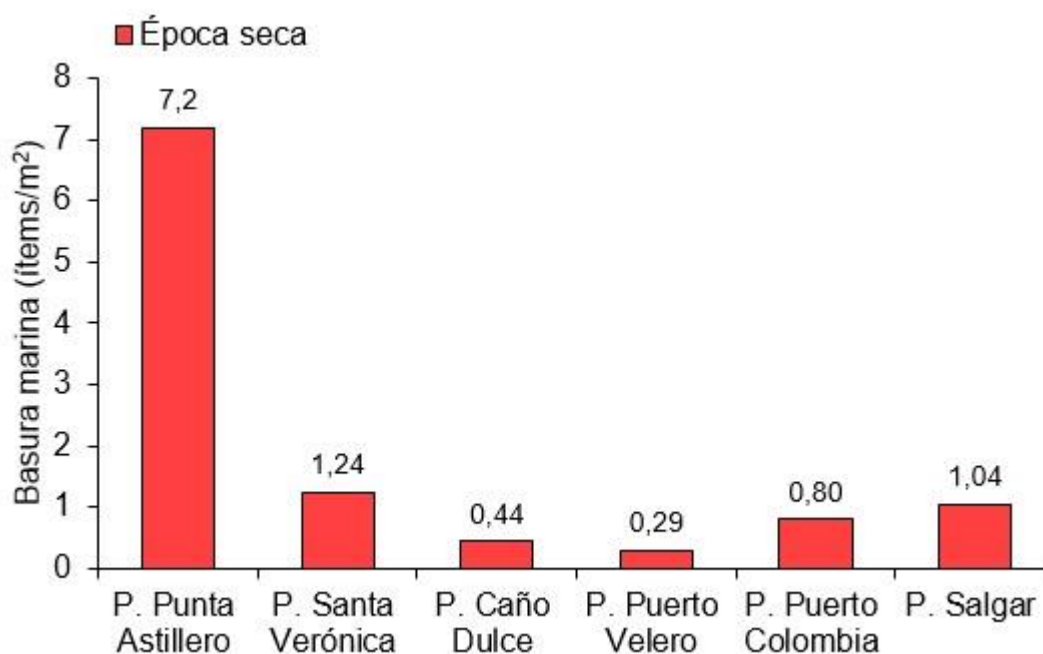


Figura 4-16. Abundancia de basura marina en las playas turísticas priorizadas del departamento del Atlántico, registrada en los muestreos llevados a cabo el 27 de septiembre de 2023.

Los materiales de basura marina encontrados correspondieron el 95% a plásticos, 2,8% a metales, 1,2% a vidrio, 0,6% a papel y 0,2% a madera y textil (Figura 4-17). Los plásticos se encontraron representados en tapas de bebidas, cubiertos desechables, envoltorios y empaques de alimentos, bolsas, palillos y fragmentos de accesorios y juguetes. Los metales, en anillas de latas y fragmentos. Con respecto al vidrio, se observó en fragmentos de envases de bebidas. Los materiales como papel, madera y textil se encontraron en menor proporción, en

envoltorios, palillos de alimentos y accesorios, respectivamente. Se resalta que los plásticos son el tipo de material de basura marina con mayor representación (>60%) en todas las playas turísticas del Atlántico analizadas en el muestreo (Figura 4-17).

Para septiembre de 2023 la representatividad general de plásticos fue mayor con respecto a la de febrero-marzo (90,6%), mayo (93,8%) y noviembre de 2022 (92,7%) (INVEMAR, 2022), lo que hace evidente la incidencia constante de las fuentes de contaminación directa por el manejo inadecuado de residuos domésticos, turísticos y pescas en la zona (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2020 a; INVEMAR-CRA, 2023).

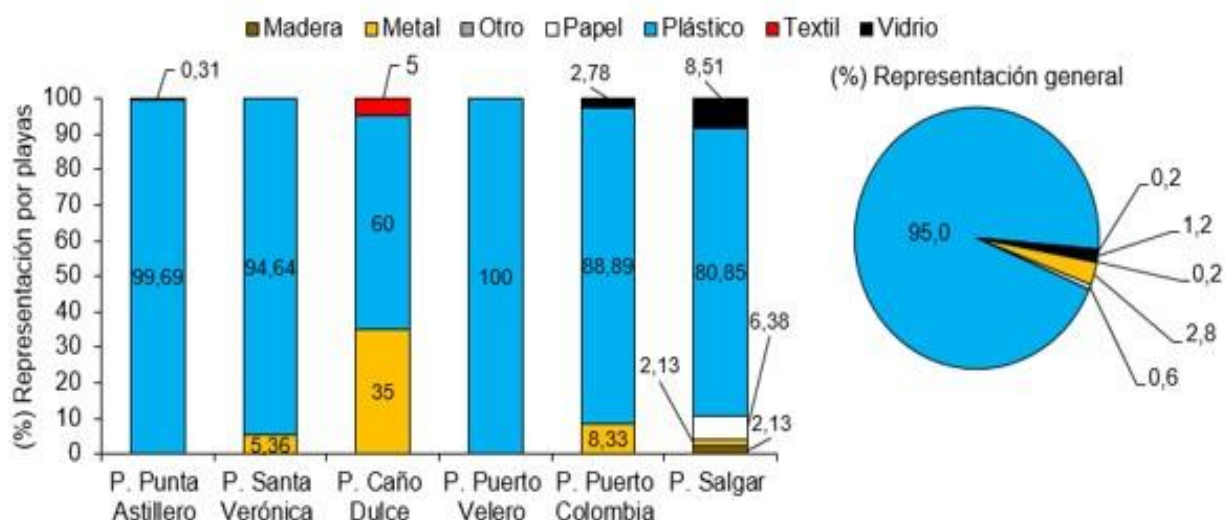


Figura 4-17. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de basura marina en las playas turísticas del Atlántico, evaluadas en los muestreos realizados el 27 de septiembre de 2023.

Los microplásticos son conocidos como partículas plásticas inferiores a los 5 mm, y se encontraron en todas las playas turísticas muestreadas en el Atlántico con diferentes abundancias, en las que oscilaron entre 21,6 ítems/m² y 3.574 ítems/m². La mayor concentración de la presentó la playa Punta Astillero con 3.574 ítems/m² (Figura 4-18), seguida de la playa de Puerto Colombia (365,6 ítems/m²), Santa Verónica (167,5 ítems/m²) y Salgar (133,6 ítems/m²). Las playas turísticas con menor abundancia correspondieron a Caño Dulce y Puerto Velero con concentraciones de 44,8 ítems/m² y 21,6 ítems/m², respectivamente.

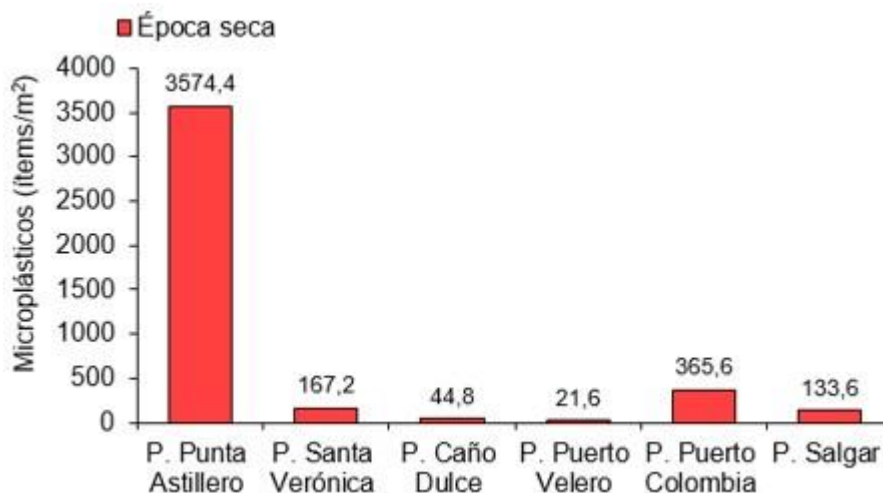


Figura 4-18. Abundancia de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas del Atlántico, colectadas el 27 de septiembre de 2023.

Los resultados de la abundancia de microplásticos para el mes de septiembre (época seca) de 2023 (Figura 4-18) en las playas turísticas del Atlántico (21,6 – 3.574,4 ítems/m²), reflejan un aumento en la concentración de estas partículas por metro cuadrado con respecto a lo reportado por [Garcés-Ordóñez et al \(2020a\)](#) para diferentes playas en Cartagena (249 – 1,387 ítems/m²) y Santa Marta (144-791 ítems/m²), en los departamentos de Bolívar y Magdalena, respectivamente. Asimismo, la abundancia de microplásticos en las playas turísticas muestreadas es superior a lo encontrado para las playas de Manzanillo y Blanca (8 – 36 ítems/m²) en Córdoba, en un área protegida aledaña a playas turísticas de gran importancia para el departamento ([Garcés-Ordóñez, 2022](#)).

Se evidenció una concentración de microplásticos en Punta Astillero similar a los muestreos realizados en temporada de seca en febrero-marzo de 2022 (3.657,6 ítems/m², [INVEMAR, 2022](#)). Resultados que reflejan y destacan que Punta Astillero es un sitio donde se está presentando acumulación por contaminación plástica, asociado a la incidencia de las fuentes de contaminación por actividades antrópicas, la dinámica marino-costera y las corrientes oceánicas. Se destaca la contribución del río Magdalena, que transporta residuos hacia las zonas costeras (Figura 4-19). Adicionalmente, debido a la ausencia de una barrera viva de mangle a lo largo de la línea costera, permite que el viento lleve directamente los desechos a la playa, facilitando su disposición y acumulación en áreas cercanas a las playas y manglares ([Rangel-Buitrago et al., 2021](#)).



Figura 4-19. Basura marina y microplásticos observados en playa Punta Astillero en el departamento del Atlántico en el mes de septiembre de 2023.

Los microplásticos se caracterizaron según su forma, lo que contribuye en la determinación del origen de la partícula. Entre las formas con mayor proporción se encontraron; fragmentos (67,2%), pellets (14,9%) y espumas (13,7%), en menor proporción se encontraron; películas (2,6%), filamentos (1,4%), y gránulos (0,1%) (Figura 4-20). Se observó que en todas las playas se encontraron microplásticos en formas de fragmentos y espumas, las cuales son de origen secundario, provenientes de la degradación de plásticos de mayor tamaño como envases desechables y elementos de poliestireno expandido "icopor". Asimismo, se registraron microplásticos de origen primario como los pellets, los cuales son manufacturados directamente por la industria como componente de diferentes productos ([Boucher & Friot, 2017](#)), este tipo de forma se encontró en cinco de las seis playas turísticas muestreadas en el Atlántico.

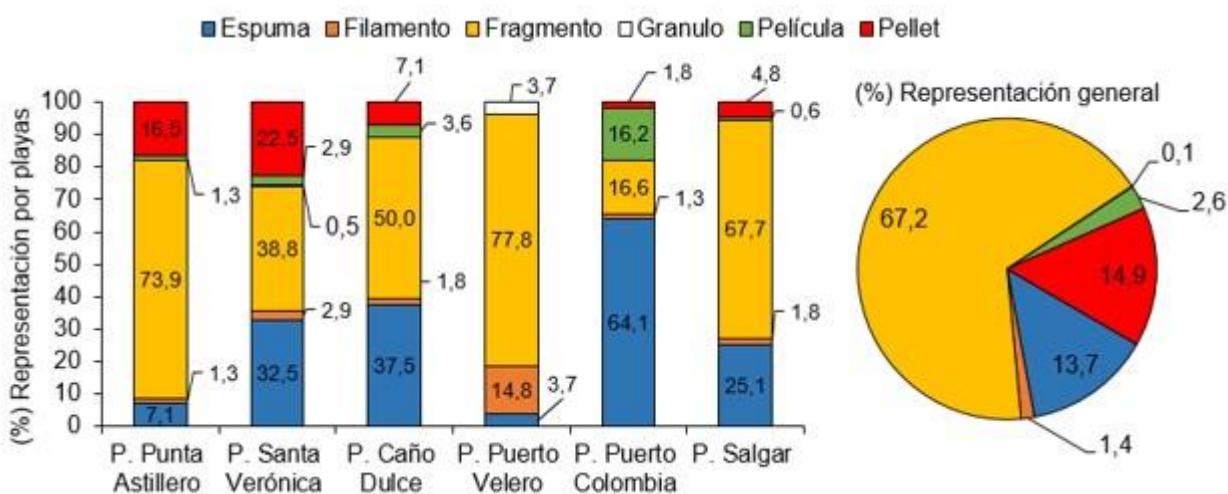


Figura 4-20. Porcentajes de la representación de microplásticos caracterizados según su forma a partir de muestras de arena de playa turísticas del Atlántico, colectadas el 27 de septiembre de 2023.

La prevalencia en la abundancia de microplásticos de origen secundario sobre las de origen primario en arenas de playa del Atlántico, también se ha presentado, en las playas en Córdoba ([Garcés-Ordóñez, 2022](#)) y en diferentes playas a lo largo del Caribe colombiano y del Pacífico, en el que predominaron los fragmentos sobre otras formas ([Garcés-Ordóñez et al., 2020a](#)). La representatividad de partículas plásticas de origen secundario sobre las de origen secundario, se asocia a que los macroplásticos en el Caribe se encuentran afectados por las condiciones de altas temperaturas, radiación y exposición solar, las cuales, en conjunto, inciden en el aumento de fragmentación y desgaste de los plásticos, que influyen en el incremento de riesgos por contaminación de microplásticos de origen secundario ([Garcés-Ordóñez et al., 2020a](#)). No obstante, [Acosta-Coley et al. \(2019\)](#) evidenciaron una prevalencia en plásticos de origen primario sobre otras formas, en playas del Caribe, incluidas Puerto Colombia, que son transportadas a través de vientos, olas y corrientes marinas hacia las playas.

4.3.5 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 del 25 al 27 de septiembre de 2023 (Figura 4-21), el cual está disponible en el portal GeoNetwork del INVEMAR en el enlace <https://n2t.net/ark:/81239/m9370p>. Además, se validaron, digitaron e ingresaron los datos del muestreo 2023, los cuales fueron cargados con éxito en el Sistema de Información REDCAM componente del Sistema de Información Ambiental Marino – SIAM, los cuales se encuentran disponibles para consulta en línea en los enlaces <http://siam.invemar.org.co/redcam> y <https://siamexplorer.invemar.org.co/>. Los usuarios de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) y el público en general pueden acceder a los servicios Web REDCAM (Figura 4-22), módulo de estadísticas, geovisor (visor geográfico), y cartografía dinámica en línea en <http://siam.invemar.org.co/redcam>. En la Figura 4-23 se muestran los resultados de sólidos suspendidos totales medido en la salida de campo REDCAM Atlántico en septiembre del 2023.

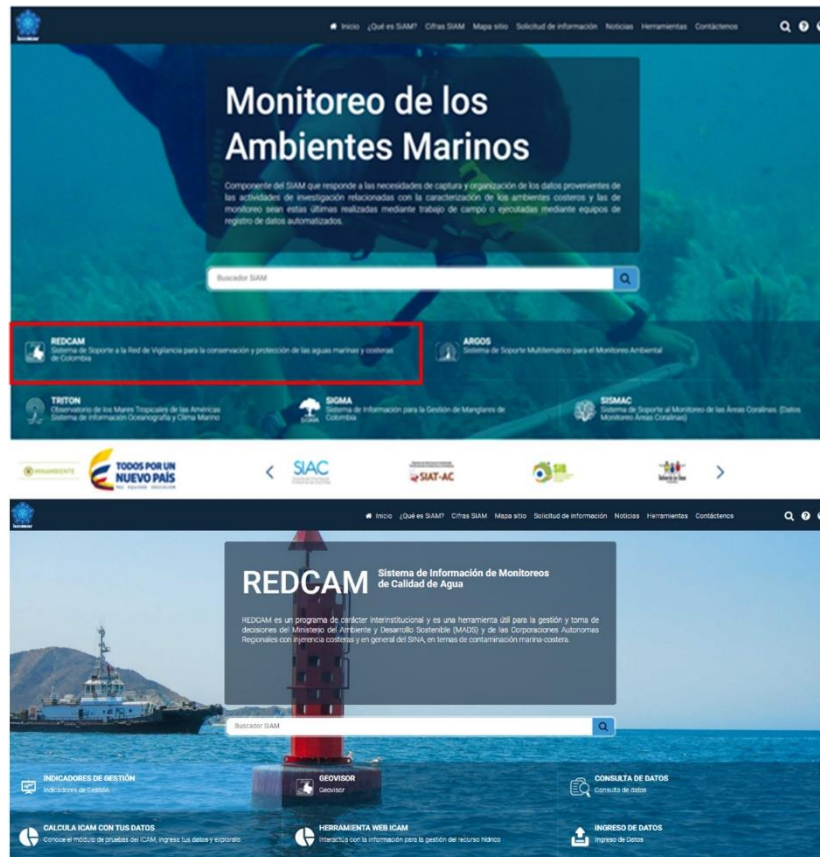


Figura 4-21. Sistema de Información Ambiental Marina – SIAM.



Figura 4-22. Metadato de la salida de campo REDCAM Atlántico realizada del 25 al 27 de septiembre de 2023 cargado en el servicio de catalogación de información de metadatos del Sistema de Información Ambiental Marina – SIAM.

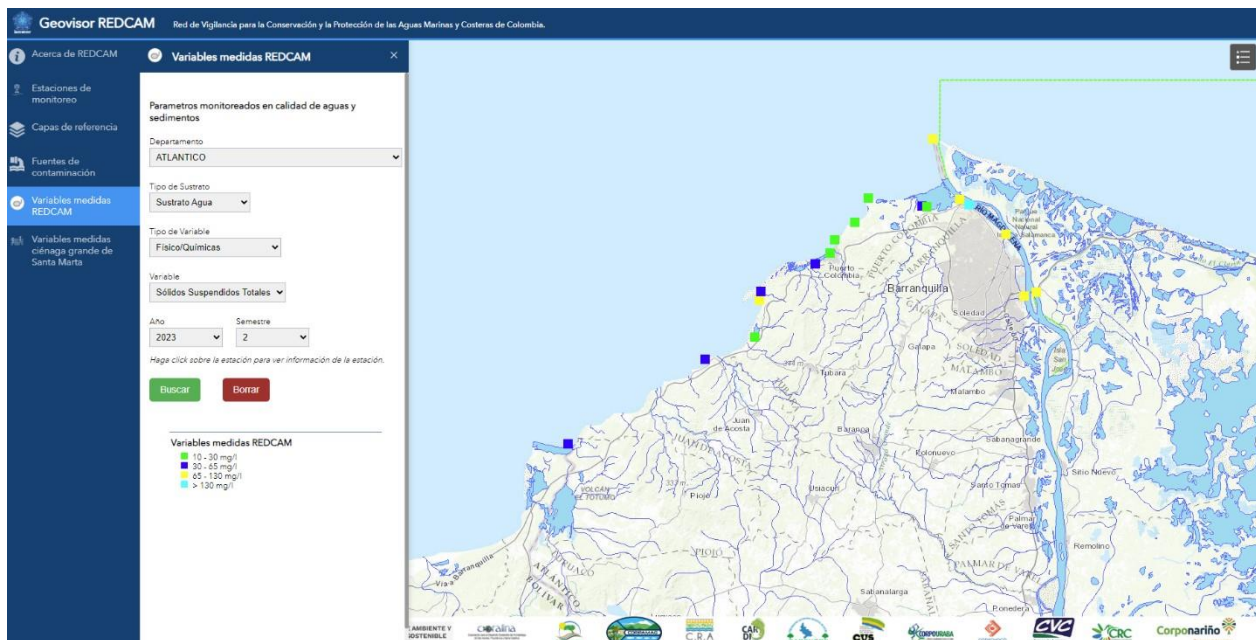


Figura 4-23. Visualización de los datos de las estaciones de monitoreo REDCAM ubicadas en el departamento del Atlántico.

4.3.6 Curso Taller REDCAM 2023

Mediante el oficio DGI-SCI-CAM 0998 del 14 de agosto 2023 (Anexo 5) se remitió la invitación a la CRA para participar en el Curso taller REDCAM 2023 “Estrés marinos y costeros: herramientas para la gestión de la calidad ambiental marina Énfasis en contaminación por microplásticos”.

El curso taller fue desarrollado con éxito entre los días 04 y 22 de septiembre del 2023 en modalidad 100% virtual bajo los lineamientos *Ocean Teacher Global Academy* (OTGA). Sin embargo, el funcionario designado por la corporación no cumplió con su participación. Cabe destacar, que el funcionario tiene acceso a todo el material del curso que es online y disponible en <https://classroom.oceanteacher.org/enrol/index.php?id=946>. En este sentido, el INVEMAR da por cumplido el 100% de elaboración del curso taller REDCAM año 2023 y mediante el oficio DGI-SCI-GEZ-CAM 1392 del 23 de octubre 2023 (Anexo 6) se notificaron dichos resultados.

4.3.7 Conclusiones y recomendaciones

- La calidad del agua marina y costera del departamento del Atlántico durante la época seca del año 2023, determinada mediante el ICAM_{PFF}, reveló que las estaciones Bocas de

Ceniza, C., Arroyo León y Ciénaga Balboa 2 presentaron condiciones de calidad de agua marina pésima e inadecuada, debido a las concentraciones de nitratos, ortofosfatos y Coliformes Termotolerantes. Estos resultados muestran la necesidad de ampliar la cobertura de alcantarillado y establecer controles para disminuir las descargas de aguas residuales, las cuales provocan estas condiciones en la calidad del agua.

- En la época seca, las estaciones de la zona de Tubará Acosta (Caño Dulce y P. Velero) y de la zona de Puerto Colombia (P. Puerto Colombia y P. Pradomar) presentaron condiciones desfavorables de la calidad del agua, con los niveles más altos de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT). Es necesario realizar estudio enfocado a la calidad microbiológica para identificar las fuentes e incidencias de contaminación que permitan tomar acciones que mejore la calidad ambiental marina.
- Las concentraciones de los metales trazan (zinc y hierro) medidos en agua superficial de las estaciones Bocas de Ceniza (B), Las Flores, F. Base Naval, Punta Roca, P. Velero, P. Pradomar, Muelle P. Colombia, C. Mallorquín-Playa y Arroyo León, indican que la probabilidad baja de que estos metales sean tóxicos y generen efectos adversos en los organismos acuáticos presentes en esas áreas. Además, las mediciones de mercurio total en sedimento en P. Velero y Base Naval-17 no implican riesgos para los organismos, debido a que los valores registrados se encuentran por debajo del límite de referencia de efectos umbral (TEL) propuestos por la NOAA. Sin embargo, es fundamental identificar las causas de las concentraciones de Cr y Zn, que superaron los valores de referencias TEL, situación que ha sido reportada en años anteriores.
- Los microplásticos reportados en la arena de las 6 playas turísticas muestreadas en el departamento del Atlántico en septiembre del año 2023, demuestran que hay contaminación por microplásticos tanto de origen primario como secundario; presentándose mayores abundancias en playa Punta Astillero. Estas condiciones muestran la incidencia del río Magdalena y de las actividades antrópicas que se desarrollan en la zona marino-costera del departamento del Atlántico. Es necesario continuar con las investigaciones con el fin de comprender el comportamiento y distribución de este contaminante emergente, así como identificar las principales fuentes para desarrollar estrategias que ofrezcan soluciones integrales a esta problemática.

5 ESTABLECIMIENTO DE LA CONDICIÓN ACTUAL, UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ECOSISTEMA DE PASTOS MARINOS EN LA ENSENADA DE PUERTO VELERO

Preparado por: Andrés F. Acosta- Chaparro, Laura Sánchez Valencia y Santiago Millán, Diana Isabel Gómez López, Jhonny Humberto Garcés, David A. Alonso Carvajal, Carolina García Valencia, Cristian Camilo Ruiz, Derly Yurani Rojas, Lizbeth Janet Vivas y Luisa Fernanda Espinosa Díaz

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

La ensenada de Puerto Velero comprende las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, ubicadas en el municipio de Tubará, departamento del Atlántico, donde también confluyen zonas ecotonales, relieves colinados, planicies fluvio-marinas y planicies fluviales, frente al mar Caribe ([Torres-Bejarano et al., 2014](#); Figura 5-1).

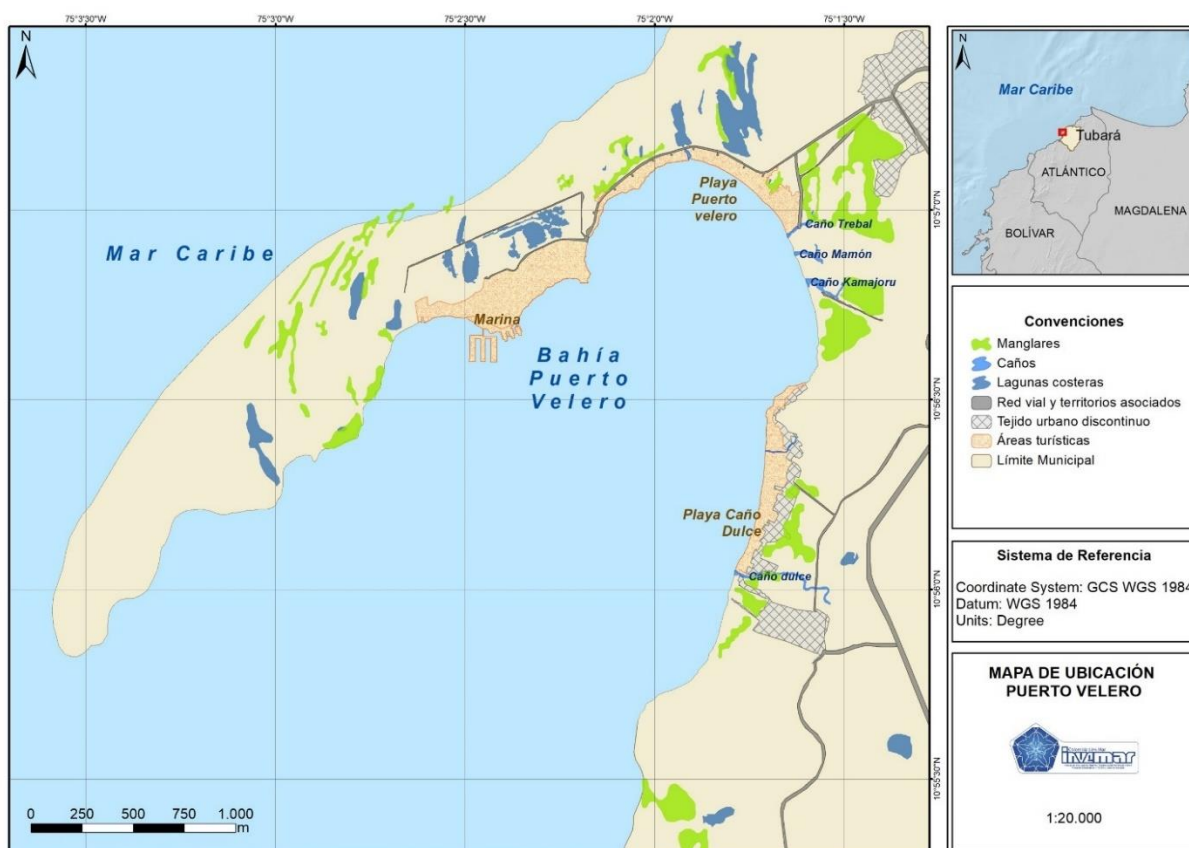


Figura 5-1. Ubicación de la ensenada de Puerto Velero, Atlántico.

5.2 METODOLOGÍA

5.2.1 Identificación de la condición actual de los pastos marinos

La verificación en campo fue realizada mediante un método de estimación visual denominado evaluación ecológica rápida, planteado con base a lo realizado en [Díaz et al. \(1995\)](#). El trabajo consistió en observaciones visuales por parte de dos buzos, en un radio de observación visual de máximo 3 m, anotando el porcentaje de cobertura, observando la presencia de fauna y flora y sacando un promedio entre la observación en los puntos visitados.

Para acceder a cada punto se viajó en lancha utilizando un GPS como navegador, cuando el dispositivo indicó la presencia del punto a menos de 5 m de distancia, se lanzó una pesa atada a una boya mediante una cuerda, prosiguiendo a marcar el punto con el GPS (Figura 5-2). A continuación, se anotó el número del punto y la profundidad, tomando una fotografía de la anotación realizada. Ya en el fondo se utilizó una tabla guía para anotar el porcentaje de cobertura de los diferentes grupos allí presentes, así como del tipo de sustrato. Para acompañar dicha lectura en cada punto se procedió a tomar fotografías capturando información general del paisaje y en caso de estar presentes, de los organismos allí encontrados.



Figura 5-2. Procedimiento de ubicación de puntos de interés para el muestreo a través de boyas y GPS.

5.2.2 Determinación de la ubicación y extensión del ecosistema de pastos marinos

Características de las imágenes de satélite

Debido a que la columna de agua sobre los fondos marinos de Puerto Velero tiende a permanecer turbia, impidiendo la visualización de los pastos marinos y aunque esta condición de turbidez no es permanente tanto *in-situ*, como en las imágenes de satélite, en ocasiones en algunos sectores la turbidez y la visibilidad se amplía desde pocos centímetros hasta 1 o 2

metros de profundidad. Para poder identificar imágenes que permitieran la observación del fondo marino, se realizó una inspección de la constelación PlanetScope. Como resultado se observaron 400 imágenes de satélite hasta encontrar tres imágenes con visualización de los fondos marinos adyacentes a la línea de costa. Debido a que la constelación PlanetScope al trabajar con aproximadamente 130 satélites, tiene la cualidad de tomar una imagen diaria de la superficie del planeta, por ello, cada una de las imágenes inspeccionadas abarcan un rango de un año y 35 días aproximadamente (desde junio de 2022 hasta agosto de 2023). Como resultado de esta inspección se seleccionaron las 3 mejores imágenes, por permitir la visualización del fondo marino hasta una profundidad máxima entre 1,5 a 2 m. Las imágenes PlanetScope utilizadas se caracterizan por incluir 8 bandas, cada una obteniendo información en longitudes de ondas específicas con rangos estrechos, de las 8 bandas 7 se encuentran dentro del espectro de la luz visible con una resolución de píxel de 3 m (Tabla 5-1). Es necesario aclarar que las mejores fechas con visualización de los fondos marinos no quieren decir que la turbidez en la columna de agua no esté presente, incluso las mejores imágenes identificadas no son tan claras en la visualización de los fondos marinos (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), por e llo fue necesario realizar un trabajo de campo extenso.

Tabla 5-1. Descripción de las 8 bandas que componen las imágenes PlanetScope incluyendo la longitud de onda de cada una de ellas.

Bandas		Longitud de onda
Banda 1	Coastal blue	431 – 452 nm
Banda 2	Blue	465 – 515 nm
Banda 3	Green I	513 – 549 nm
Banda 4	Green I	547 – 583 nm
Banda 5	Yellow	600 – 620 nm
Banda 6	Red	650 – 680 nm
Banda 7	Red Edge	697 – 713 nm
Banda 8	NIR	845 – 885 nm



A



B



C



D

Figura 5-3. Mejores imágenes PlanetScope de Puerto Velero seleccionadas por permitir la visualización del fondo marino adyacente al límite costero. A. imagen del 21 de julio de 2023, B. Imagen del 14 de julio de 2023, C. Imagen del 6 de enero de 2023, D. Imagen del 11 de noviembre de 2022.

Para el diseño de muestreo no solo se utilizaron las imágenes de satélite mencionadas anteriormente, sino que también se consultó la información del convenio interadministrativo No. 0010 de 2021 CRA- INVEMAR que identificó la presencia de pastos en algunos sitios específicos en una capa cartográfica y un mosaico de imágenes obtenido con un dron (Figura 5-4). Con base en esta información se construyó un mapa de campo con 167 puntos desplegados a lo largo de los sitios donde se presumió la presencia de pastos marinos (Figura 5-5).

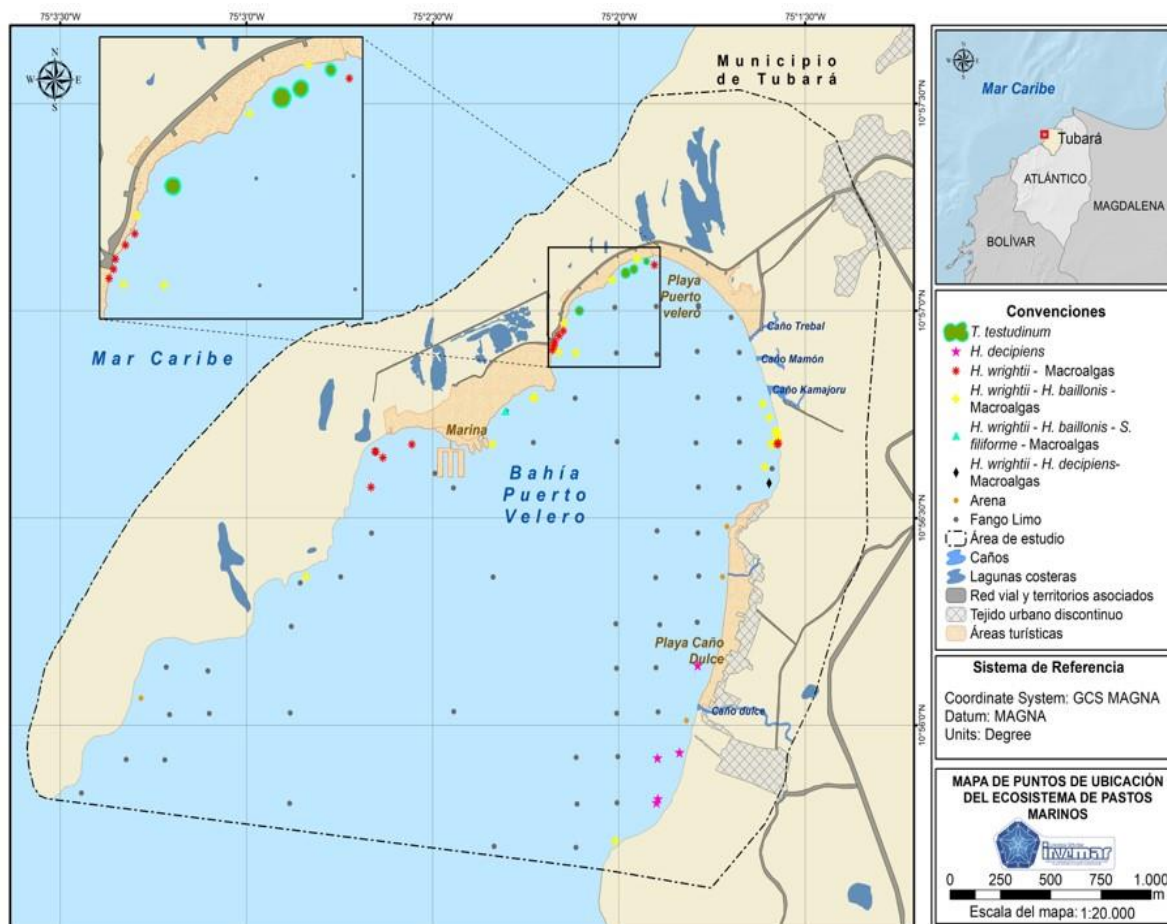


Figura 5-4. Fondos marinos y mosaico generado durante el convenio interadministrativo No. 0010 de 2021 CRA- INVEMAR (mapa tomado del informe del citado convenio)

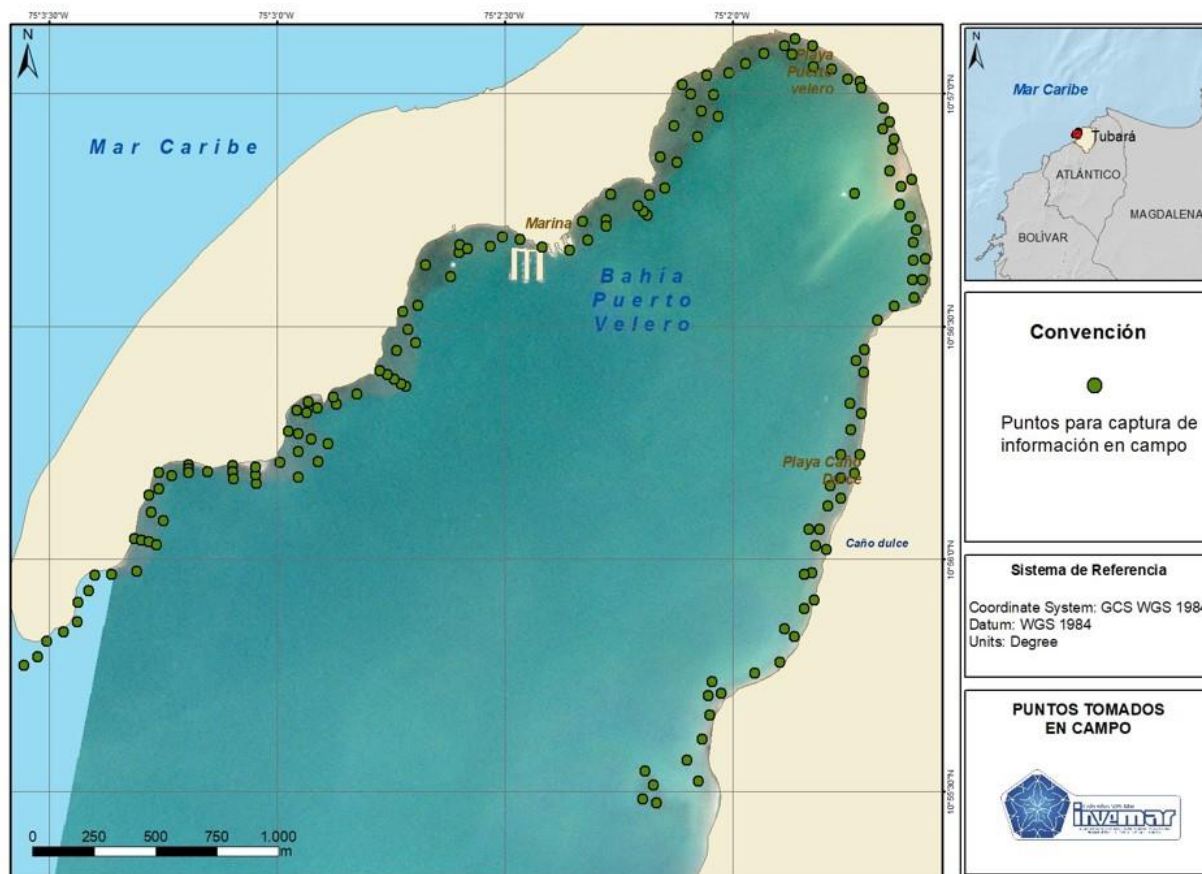


Figura 5-5. Áreas definidas para la captura de información en campo en dos sectores de Puerto Velero. Elaboración LabSIS- INVEMAR 2023.

Estructuración de la información tomada en campo

Para compensar la visualización limitada de los pastos marinos tanto a través de las imágenes y directamente en campo, se registraron 231 puntos orientados a todos los lugares donde se presumió la existencia de los pastos (Figura 5-6), 101 fueron para evaluación ecológica rápida y 130 para la delimitaron de parches de pastos marinos de *Thalassia testudinum* y de *Syringodium filiforme*.

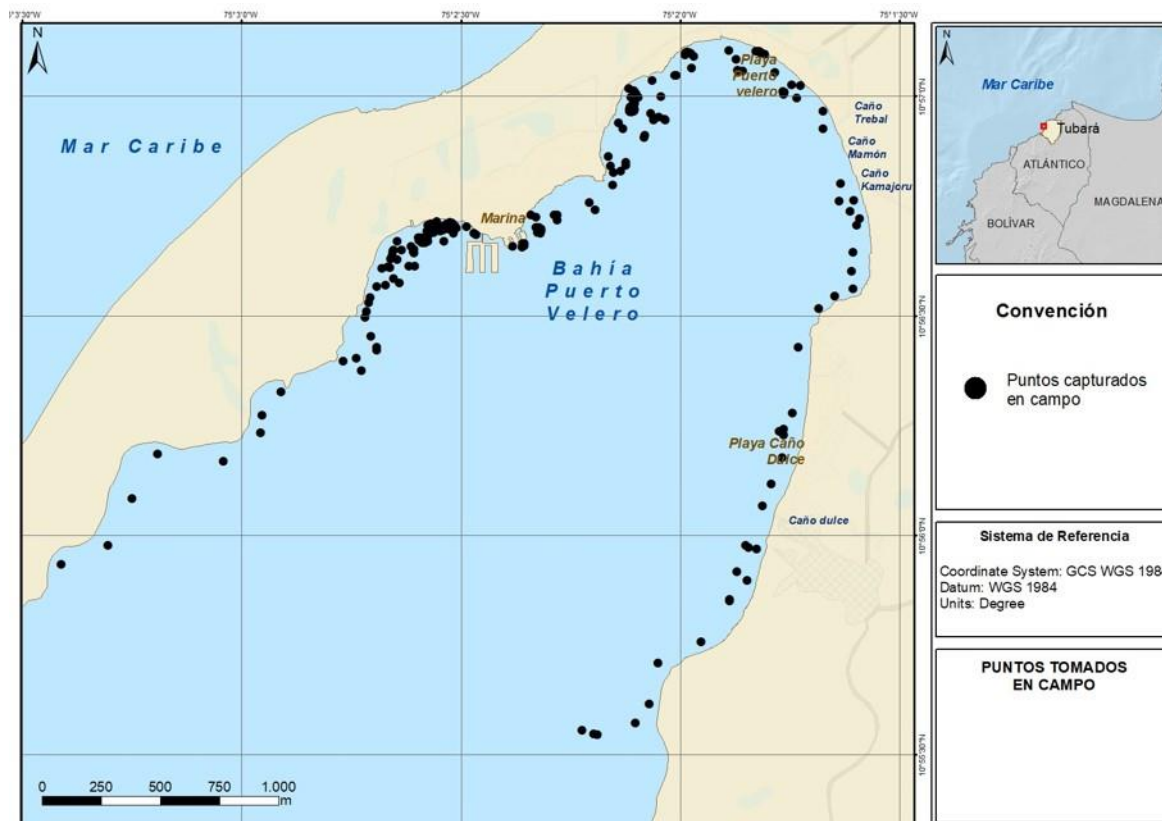
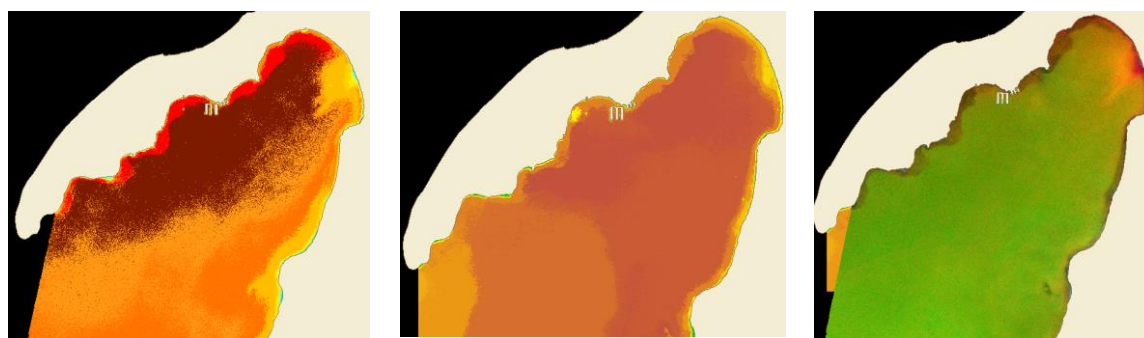


Figura 5-6. Puntos donde se realizó la toma de datos en la salida de campo de Puerto Velero. Elaboración LabSIS-INVEMAR 2023.

Análisis de imágenes de satélite y edición de la capa cartográfica

Para el análisis de las imágenes de satélite se realizaron pruebas de clasificación no supervisada en ArcGIS 10.8 y pruebas supervisadas con el clasificador Random Forest en Google Earth Engine utilizando 2, 3 y 4 clases como áreas de entrenamiento, sin embargo, los resultados no fueron satisfactorios, lo anterior debido a la baja visibilidad en la columna de agua y al pequeño tamaño de los parches de pastos marinos donde el promedio de tamaño es de 0,03 ha, por ello, la interpretación visual junto con la identificación de patrones espaciales fue adecuado y permitió la construcción del insumo cartográfico (Figura 5-7 y Figura 5-8).



A.

B.

C.

Figura 5-7. Visualización de la porción marina de Puerto Velero con base en A. Clasificación No supervisada Iso Cluster, B. Clasificación Supervisada Random Forest, y C. Visualización con componentes principales.



A.

B.

C.

Figura 5-8. Visualización de la porción marina en la zona del muelle o marina. Las flechas indican parches de pastos marinos. A. Visualización de una imagen PlanetScope del 28 de julio de 2023. B. Visualización de la misma imagen bajo componentes principales y C, Visualización de la imagen con base en clasificación no supervisada Iso Cluster.

Fuente: LabSIS- INVEMAR 2023.

5.2.3 Valoración de factores de degradación y recomendaciones para la prevención y protección ambiental

Para identificar los factores de degradación ambiental presentes en la ensenada de Puerto Velero, se realizó una salida de campo del 7 al 10 de octubre de 2023 para el levantamiento de información primaria. Se hicieron recorridos terrestres en toda la línea para referenciar los tensores antrópicos y naturales que pueden afectar el ecosistema de pastos marinos, se tomó registro fotográfico y se georreferenció cada punto; así mismo, se realizaron inspecciones subacuáticas por careteo. La información colectada en campo se complementó con información secundaria.

5.2.3.1 Evaluación de impactos potenciales

Dando continuidad al ejercicio del año 2022, para la evaluación de impactos se utilizó como herramienta para valorar los aspectos relacionados con el estado de los recursos ambientales, asociados a las presiones identificadas en la ensenada de Puerto Velero la metodología [Conesa, 2009](#) modificada de acuerdo con [Toro et al., 2013](#), que define la importancia del impacto en función del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida. Esta metodología se caracteriza por incluir escalas descriptivas y numéricas para la calificación de cada atributo, y determina la importancia del impacto de acuerdo al criterio del evaluador, utilizando la Ecuación 1 que integra seis atributos ([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 a 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 empleando escalas cualitativas, asignando un valor numérico que fue incrementando en la medida que el daño causado es potencialmente más severo sobre el componente ambiental afectado (Tabla 5-2). La valoración de la importancia del impacto fue el resultado del análisis integral que se fundamenta en el conocimiento de las condiciones ambientales particulares del área de influencia ([Viloria-Villegas et al., 2018](#))

Tabla 5-2. 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 de valoración incluyó tres ejes: el primer eje incorporó las presiones identificadas en cada playa; el segundo eje incorporó los factores y componentes ambientales, entre ellos, el

abiótico (recursos naturales, agua, suelo y aire), biótico (Flora y Fauna) y socioeconómico (económico, cultural y salubridad); y el tercer eje incluyó los impactos ambientales asociados y derivados de las presiones identificadas en cada playa (Tabla 5-3). Las filas de la matriz proporcionan un resumen de los aspectos colectivos de las presiones y actividades que pueden tener una influencia acumulativa sobre los componentes específicos del medio natural y humano ([Viloria-Villegas et al., 2018](#)).

Tabla 5-3. Matriz de identificación de impactos ambientales por componente utilizado para Punta Astilleros modificado de Conesa, 2009.

EJE 1	EJE 2		EJE 3
PRESIONES	FACTOR	COMPONENTE	IMPACTO ASOCIADO
1. Vertimientos, pozas sépticas 2. Residuos sólidos 3. Quema de residuos 4. Fondeo, tráfico y mantenimiento de embarcaciones 5. Rellenos de playa 6. Cambio del uso del suelo y sedimentación	Abiótico	Recursos naturales	Afectación en la provisión de los servicios ecosistémicos
		Agua	Afectación de las condiciones fisicoquímicas del agua
			Adición de microplásticos al cuerpo hídrico
			Proliferación de microalgas (aumento de nutrientes)
		Suelo	Pérdida de área natural de la playa (erosión costera)
			Contaminación del sedimento con microplásticos
			Afectación de las condiciones microbiológicas del suelo
		Aire	Presencia de olores ofensivos
			Liberación y transporte de material particulado
	Biótico	Flora	Presencia de microplásticos en el sustrato de la vegetación (pastos marinos)
			Crecimiento de epifitas en las hojas de los pastos marinos (Muerte)
		Fauna	Cambio en los hábitos alimenticios por la disponibilidad biológica de microplásticos
			Daño y obstrucción de órganos internos
			Daños a órganos blandos por toxicidad de microplásticos
			Pérdida de hábitat y zonas de alimentación
	Socioeconómico	Económico	Disminución de los ingresos de pesca
			Pérdida del turismo
			Disminución del consumo de los productos locales
		Cultural	Deterioro del paisaje
			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 el componente ambiental (abiótico, biótico y socioeconómico), se elaboró la matriz causa y efecto para determinar las interacciones (Anexo 7). Posteriormente, se calificó de acuerdo con los rangos establecidos para obtener el grado de manifestación cualitativa de la importancia del impacto, aplicando la ecuación propuesta por ([Conesa, 2009](#); Tabla 5-4).

Tabla 5-4. Calificación de la importancia del impacto. Modificado de [Conesa, 2009](#)

IMPORTANCIA	RANGO
Impacto crítico	71 ≤ IM
Impacto severo	51 - 70
Impacto moderado	21 – 50
Impacto irrelevante	IM ≤ 20

Para profundizar en el análisis y complementario a la evaluación de impactos sobre el ecosistema de pastos marinos, se priorizaron los tensores de este ecosistema mediante una matriz *Vester*, elaborada a partir de referencias secundarias, conceptos teóricos y observaciones en campo. Esta herramienta permitió representar sobre un plano cartesiano la clasificación de los tensores como activos, críticos, pasivos o indiferentes, dependiendo del grado de causalidad, impacto en el ecosistema y su relación con el resto de tensores identificados.

Los tensores identificados en los pastos marinos de Puerto Velero, se relacionaron con cada tensor con un código (P1 – P10) en la evaluación de la matriz. La calificación se relacionó con la dependencia e influencia que tiene cada variable (tensor) con las demás, donde: (0) no la causa; (1) la causa indirectamente o tiene una relación débil; (2) la causa de forma semi-directa o tiene una relación media; y (3) la causa directamente o tiene una relación fuerte.

5.2.4 Recomendaciones para la prevención y protección ambiental

Con el propósito de recopilar información acerca de las condiciones ambientales de la Ensenada de Puerto Velero e identificar posibles acciones o recomendaciones de prevención y protección ambiental, se realizaron tres espacios de participación con actores clave. Dos se desarrollaron de manera presencial con la comunidad local en Puerto Velero y uno de manera virtual con representantes de diferentes instituciones.

El primer espacio de trabajo se realizó el día 10 de octubre de 2023, en el cual participaron residentes, prestadores de servicios turísticos y pescadores de las playas de Puerto Velero y Caño Dulce. En este espacio se hizo una contextualización del proyecto Convenio 008-2023, se identificaron los usos actuales de las playas, empleando el perfil productivo donde se listaron las actividades u oficios principales de la comunidad y se describieron las actividades que se relacionan con el ecosistema de pastos marinos. Seguido, se realizó la valoración de impactos de los factores de degradación identificados en la zona y finalmente se utilizaron mapas en papel para elaborar cartografía social, que le permitió a los asistentes reconocer su territorio e identificar y espacializar las problemáticas ambientales que afectan la zona (Figura 5-9A). Para complementar la información se elaboró una encuesta (Anexo 8), utilizando el software de uso

libre "Kobocollet". La encuesta tuvo como objetivo recoger información sobre la percepción de turistas y comunidad local frente al estado actual de la ensenada, las fuentes de contaminación, presencia e importancia del ecosistema de pastos marinos y las afectaciones potenciales por las actividades presentes sobre la línea de costa. La encuesta se aplicó durante las actividades de campo a 35 personas entre turistas y comunidad local. Toda esta información brindó insumos para las recomendaciones de manejo orientadas a la prevención de impactos y para la protección de los pastos marinos en la ensenada de Puerto Velero (Figura 5-9B).

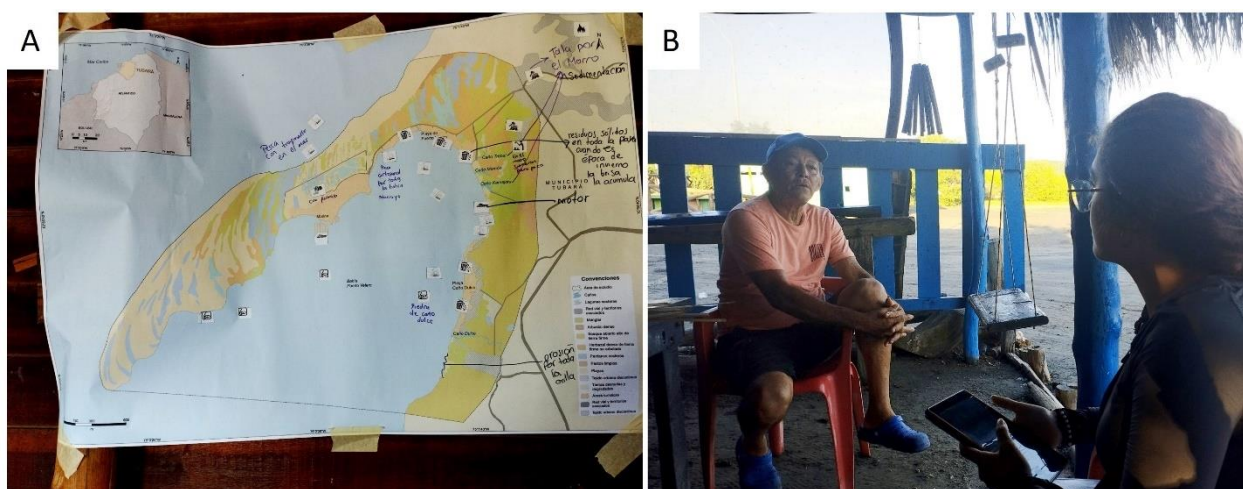


Figura 5-9. Taller con participantes de las comunidades para espacializar las problemáticas ambientales de Puerto Velero y Caño Dulce (A) y realización de encuesta a pescador de la zona de Puerto Velero (B). Fotos: Cristian Ruiz.

El segundo espacio se realizó con instituciones de manera virtual el 14 de noviembre de 2023, con el fin de identificar y validar de forma participativa las problemáticas ambientales, los usos de la playa, los ecosistemas y las fuentes de contaminación presentes en la ensenada de Puerto Velero. Con los participantes se identificaron los proyectos que se han venido desarrollando en la zona y los que tienen proyectado realizar; así mismo se mencionaron algunas acciones para mejorar las condiciones ambientales de la ensenada.

El tercer encuentro se realizó con las comunidades locales de Puerto Velero y Caño Dulce, el 17 de noviembre de 2023, en este espacio se abordaron las diferentes acciones y proyectos ambientales que actualmente se están desarrollando con la comunidad y se mencionaron algunas recomendaciones que se podrían implementar a futuro para la protección ambiental de los ecosistemas marinos, en especial los pastos marinos en la ensenada de Puerto Velero.

5.2.5 Espacio de alfabetización oceánica

El 15 y 16 de noviembre se desarrollaron espacios de alfabetización oceánica con comunidades e instituciones educativas de la zona en el municipio de Tubará para sensibilizar a los participantes y contextualizarlos acerca del ecosistema de pastos marinos, unificando

conceptos, la influencia del océano en nosotros y nosotros sobre el océano, así mismo generar conciencia y un comportamiento más responsable e informado hacia el océano y los servicios ecosistémicos. Los encuentros se desarrollaron de manera presencial en el Centro Educativo Juaruco (15 de noviembre) y en la Institución Educativa Playa Mendoza (16 de noviembre) en el municipio de Turbará, Atlántico, se realizó la alfabetización oceánica mediante actividades didácticas, buscando estimular y desarrollar los conocimientos, comportamientos y habilidades de los estudiantes para proteger el planeta, además de invitarlos a apropiarse de su territorio en cuanto a los ecosistemas marino y costeros presentes en la zona, enfatizando en las praderas de pastos marinos (Figura 5-10).



Figura 5-10. Jornada de alfabetización oceánica. Centro Educativo Juaruco (A), Institución Educativa Playa Mendoza (B). Fotos: Cristian Ruiz.

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Identificación de la condición actual de los pastos marinos

La información de campo fue clasificada según la relevancia de los organismos presentes y/o el tipo de sustrato presente, así como su condición actual evidenciada. Para ello se utilizó la información obtenida en los puntos de Evaluación Ecológica Rápida y en los puntos de delimitación de parches específicos de *T. testudinum* y *S. filiforme*. Lamentablemente en los lugares en los que la visibilidad lo permitía no se evidenció la presencia de las especies características en pastos marinos como erizos, moluscos, crustáceos, bivalvos, peces etc.

De esta manera se agrupó la información en las siguientes categorías:

- **Fondo Coralino:** con una profundidad cercana a los 2,5 m, compuesta por agregaciones de sustrato principalmente rocoso, el cual se encuentra parcialmente cubierto por costras de coral, con tamaños de colonias que varían desde los pocos cm hasta alrededor de 1 m de diámetro. Dentro de las especies representativas se pueden encontrar a *Siderastrea siderea* (Figura 5-11A), *Siderastrea radians* (Figura 5-11B), *Pseudodiploria strigosa* (Figura 5-11C), y en menor medida a *Millepora* spp, que se ven acompañadas por acumulaciones de algas principalmente cespitosas.

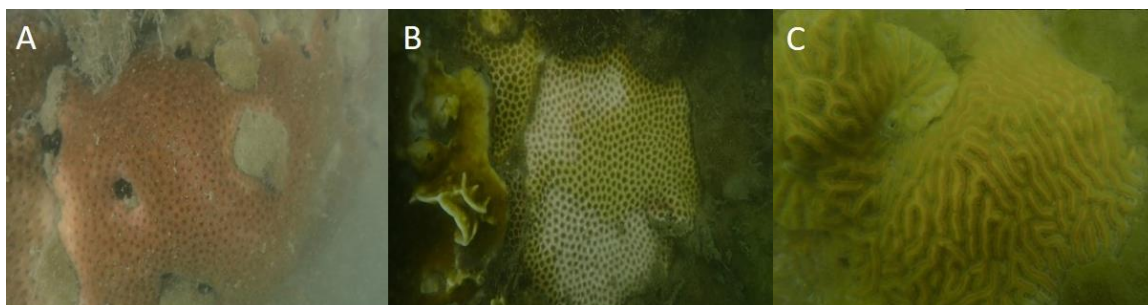


Figura 5-11. Corales escleractineos encontrado sobre sustratos duros en el sector de Puerto Velero. *Siderastrea siderea* (A), *Siderastrea radians* (B) y *Pseudodiploria strigosa* (C). Fotos: Andrés Acosta

- **Pastos marinos dispersos:** Fondos predominantemente arenosos que corresponden a un área de parches con presencia *Syringodium filiforme*, *Halodule wrightii* (Figura 5-12) y *Halophila decipiens*, los cuáles se encontraban de forma dispersa a lo largo del área, con coberturas que de forma general no superaban el 15%. De forma general no se evidenciaron afectaciones de origen antrópico en el área, pese a la alta sedimentación habitual que allí tiene lugar.



Figura 5-12. Pastos marinos dispersos, *Halodule wrightii*. Fotos: Andrés Acosta

- **Sedimentos bioturbados:** Fondos blandos con sustratos lodosos, limosos o arenosos en los que la presencia de organismos bentónicos no es conspicua. En algunos puntos específicos pueden encontrarse presencia de macroalgas y de algas cespitosas, sin

embargo, estas no representan una cobertura destacada. Se destaca que esta zona de sedimentos puede encontrarse desde los pocos cm de profundidad, hasta alrededor de los 8 m, en la parte más central de la bahía (Figura 5-13).



Figura 5-13. Sedimentos bioturbados característicos en el sector de Puerto Velero. Foto: Andrés Acosta

- **Sedimentos bioturbados – *Halophila* spp.:** Similar a la zona de sedimentos bioturbados, pero con una representación mucho menor dentro de la bahía de Puerto Velero. Difiere de la anterior por la presencia de numerosos parches de *Halophila decipiens* y *Halophila baillonis* los cuáles se encuentran de forma dispersa a lo largo del área, en algunos casos acompañados de algunas especies de macroalgas, principalmente frondosas. La alta sedimentación de la zona causa que estos suelen encontrarse sepultados, por lo que el asentamiento de las diferentes especies de pastos se ve imposibilitado (Figura 5-14).

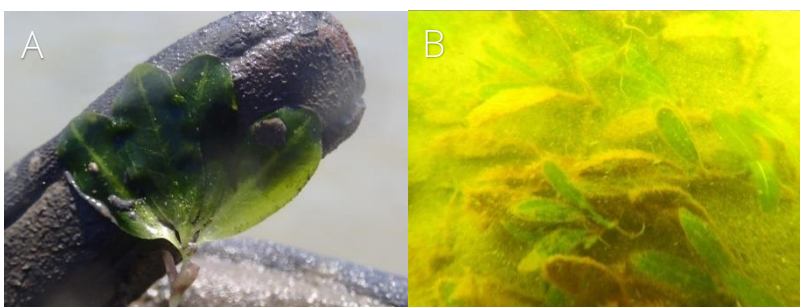


Figura 5-14. Sedimentos bioturbados - *Halophila* spp. *Halophila baillonis* (A) y *Halophila decipiens* (B). Fotos: Laura Sánchez

- ***Syringodium filiforme*:** Son lugares con presencia de pasto marino de esta especie que pueden llegar a formar parches reconocibles y fácilmente diferenciables del sustrato que las rodea. En estos lugares la cobertura de pasto marino es mayor que en la categoría de parches de pastos mixtos dispersos, llegando a superar el 25%. Se evidenció en una buena condición, pese a la turbidez que suele presentarse en el área (Figura 5-15).



Figura 5-15. Sedimentos bioturbados – *Syringodium filiforme* Foto: Andrés Acosta

- ***Thalassia testudinum*:** Son lugares similares a la categoría de *S. filiforme*, diferenciándose de este en que acá la especie dominante es *T. testudinum*. Se destacan como agregaciones de esta especie, donde la cobertura puede llegar a ser cercana al 90 %. Las condiciones de turbidez tienden a ser mayores en el área central de la bahía en la que a la profundidad donde se asienta esta especie es de alrededor de 1 m, mientras que, en sector noroccidental, puede verse a profundidades ligeramente mayores, alcanzando los 1,8 m. De forma general, las áreas encontradas de esta especie se presentaron en buenas condiciones, sin embargo, algunos sectores pueden llegar a verse afectados por el paso de turistas o de embarcaciones, debido a la baja profundidad donde se encuentran (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Figura 5-16. Pasto marino *Thalassia testudinum* en Puerto Velero. Foto: Laura Sánchez

5.3.2 Determinación de la ubicación y extensión del ecosistema de pastos marinos

Identificación de patrones espaciales

La información recolectada en campo, permitió la identificación de patrones espaciales y localizar la distribución espacial de las categorías expuestas anteriormente (Figura 5-17). De esta manera se identificó que la presencia de pasto marino se encuentra desde profundidades de 30 cm hasta 1,6 a 2 m de profundidad, siendo este un patrón generalizado en todos los sitios donde fueron registrados. Otro patrón identificado tiene que ver con la presencia de parches de pastos

marinos de *Syringodium filiforme* y *Thalassia testudinum*, pues sólo se encuentran hacia el costado norte y en inmediaciones del muelle tanto a su costado izquierdo como en el derecho. En esa misma zona, rodeando los parches de pastos de las especies reportadas y en áreas más amplias se identificó la presencia de *Halodule wrightii*, *Halophila decipiens* y *H. baillonis*, distribuidos de manera dispersa y en proporciones bajas que no permiten su identificación en las imágenes de satélite. Hacia el costado este y sur-este de la bahía, se caracteriza por presentar una franja somera estrecha, y por la ausencia de pasto marino en la zona adyacente a la desembocadura de los caños Trebal, Mamón y Kamajoru y en el costado que continua hacia el este por aproximadamente 800 m. Sin embargo, hacia el costado sur-este se encuentra una franja de más de 1 km con pastos dispersos de las dos especies de *Halophila* las cuales se caracterizan por no formar praderas.

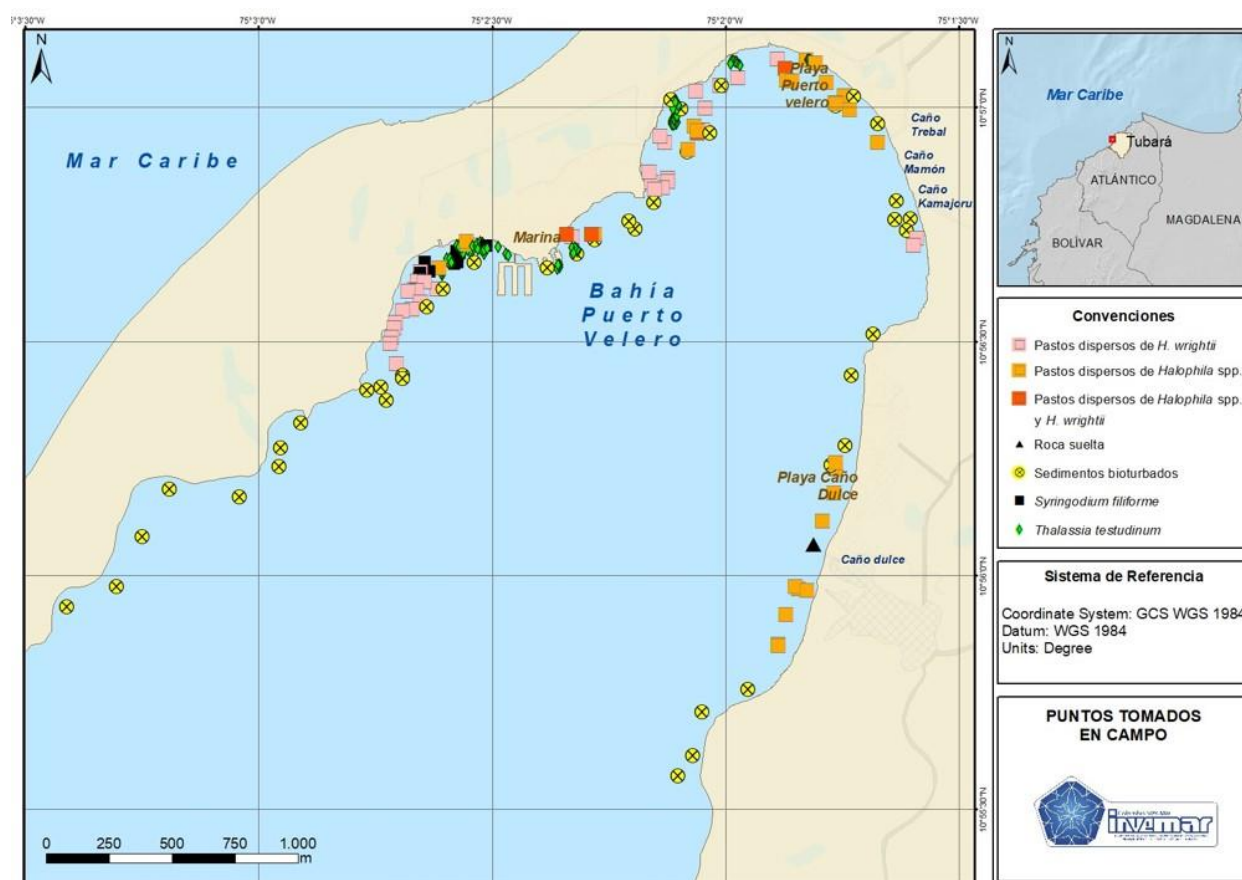


Figura 5-17. Unidades bióticas del fondo marino de Puerto Velero.

Construcción de la Cartografía

1) Interpretación de las imágenes de satélite y puntos de campo clasificados: Se partió de dos parches de pastos marinos identificados previamente en el mosaico generado en el convenio

interadministrativo No. 0010 de 2021 CRA- INVEMAR, a continuación, se identificaron todas las configuraciones que, por su textura, tono, forma y tonalidad, se presumió ser de parches de pastos marinos, posteriormente al menos el 90% de estos sitios fueron corroborados con la información capturada en campo.

2) Profundidad: La delimitación de los pastos marinos hacia el interior de la bahía se realizó con base en el límite de visualización de los fondos marinos en las imágenes de satélite, este patrón delimitador se halló con base en los registros de presencia de pastos marinos que coincidieron con los sitios donde se logró visualizar los fondos marinos, es decir, fondos entre 1,5 a máximo 2 m de profundidad.

Sumado a ello, se tuvo en cuenta que los fondos marinos de la bahía de Puerto Velero componen una gran extensión de fondos lodosos en su porción central, que van tendiendo hacia fondos arenosos en sus porciones más someras a excepción del costado este y en los fondos adyacentes a las desembocaduras de los caños y donde predominan fondos limosos y lodosos. Sobre los fondos arenosos someros se pueden desarrollar parches de pastos marinos relativamente densos, y estos se localizan hacia el costado norte y noroeste donde crece pasto marino (*T. testudinum* y *S. filiforme*); en los demás sitios someros donde se desarrolla pasto marino este lo hace de manera dispersa, en todos estos lugares se identifica *Halodule wrightii*, mientras que *H. decipiens* y *Halophila baillonis* sólo se identifican en las inmediaciones de la zona de la marina o muelle. Hacia el costado sureste en los límites de la bahía se encuentra un fondo rocoso con desarrollo coralino, este es un sitio donde no se conoce la extensión real ni las especies coralinas o de otras especies bentónicas más relevantes (Figura 5-18).

Como resultado se mapearon **583,8** ha de fondos marinos, de los cuales **34,9** ha corresponden a fondos con presencia de pastos marinos; sin embargo, esta presencia no es homogénea, sino que está dividida en cuatro unidades de paisaje con presencia de pastos marinos, donde la unidad dominante es la de pastos marinos dispersos con **25, 3** ha seguida de Sedimentos Bioturbados-*Halophila* spp. con **9,1** ha, por otro lado, los parches de pastos marinos a pesar de abarcar pequeñas extensiones con apenas 0,49 ha tendieron a agruparse en sectores específicos lo que les otorga relevancia ecológica. Los pastos marinos se distribuyeron en 8 parches de *S. filiforme* que suman **0, 05 ha** o 509 m², y 20 parches de *T. testudinum* que suman **0,45 ha** o 4522 m² (Figura 5-19 y Figura 5-20).

Respecto a los fondos coralinos en la actualidad no se tiene certeza de su extensión, pues la delimitación realizada sólo corresponde a lo que se logró visualizar en las imágenes de satélite. Sin embargo, se presume que este fondo puede ser mucho más grande que lo delimitado cartográficamente en el presente estudio donde se reporta 2,2 ha o 22.179 m².

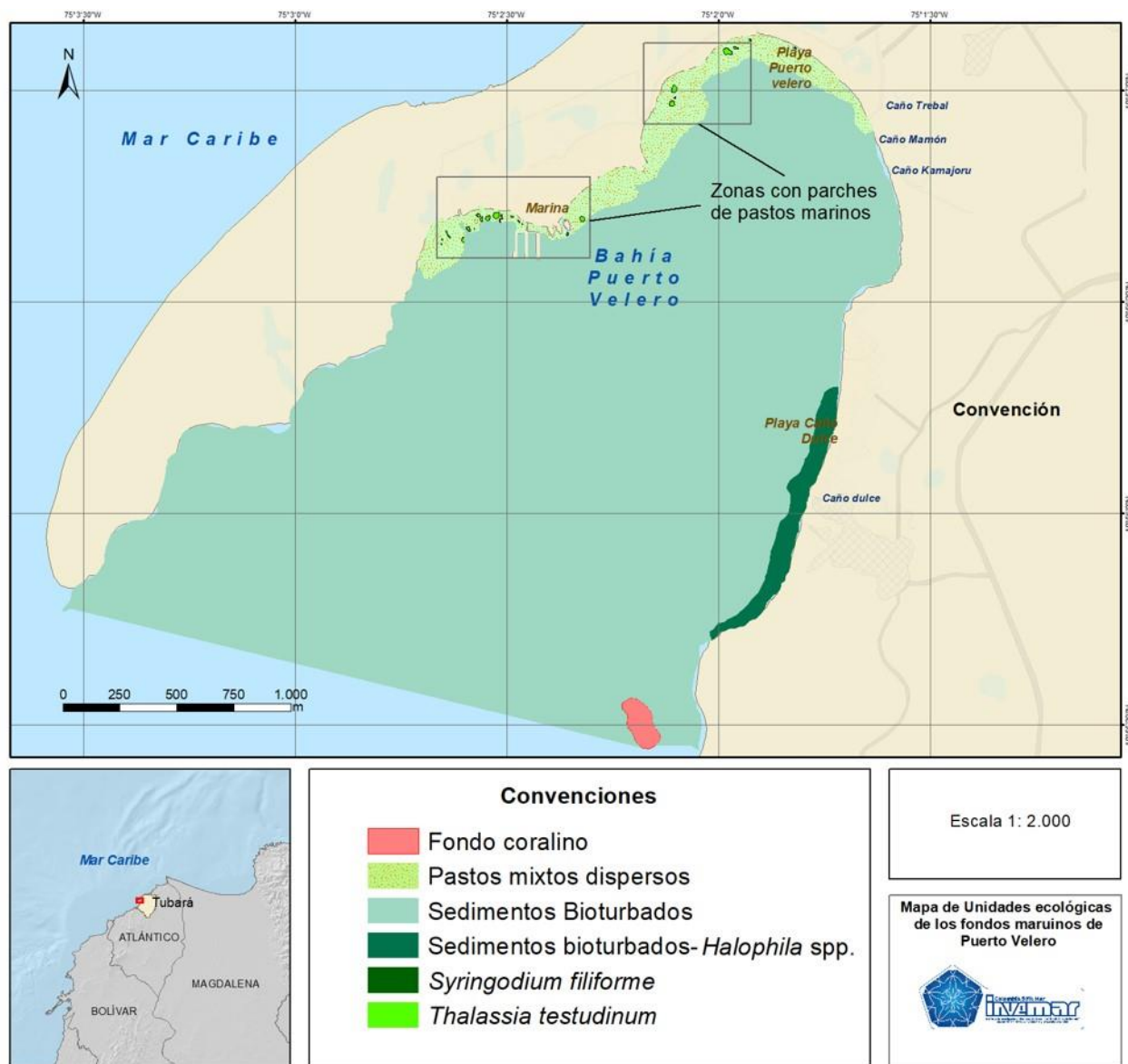


Figura 5-18. Fondos marinos de Puerto Velero donde se discrimina los sitios con presencia de pastos marinos. Los fondos donde los pastos marinos son más relevantes, se presentan en varios parches que se localizan en los cuadros señalados en el mapa.

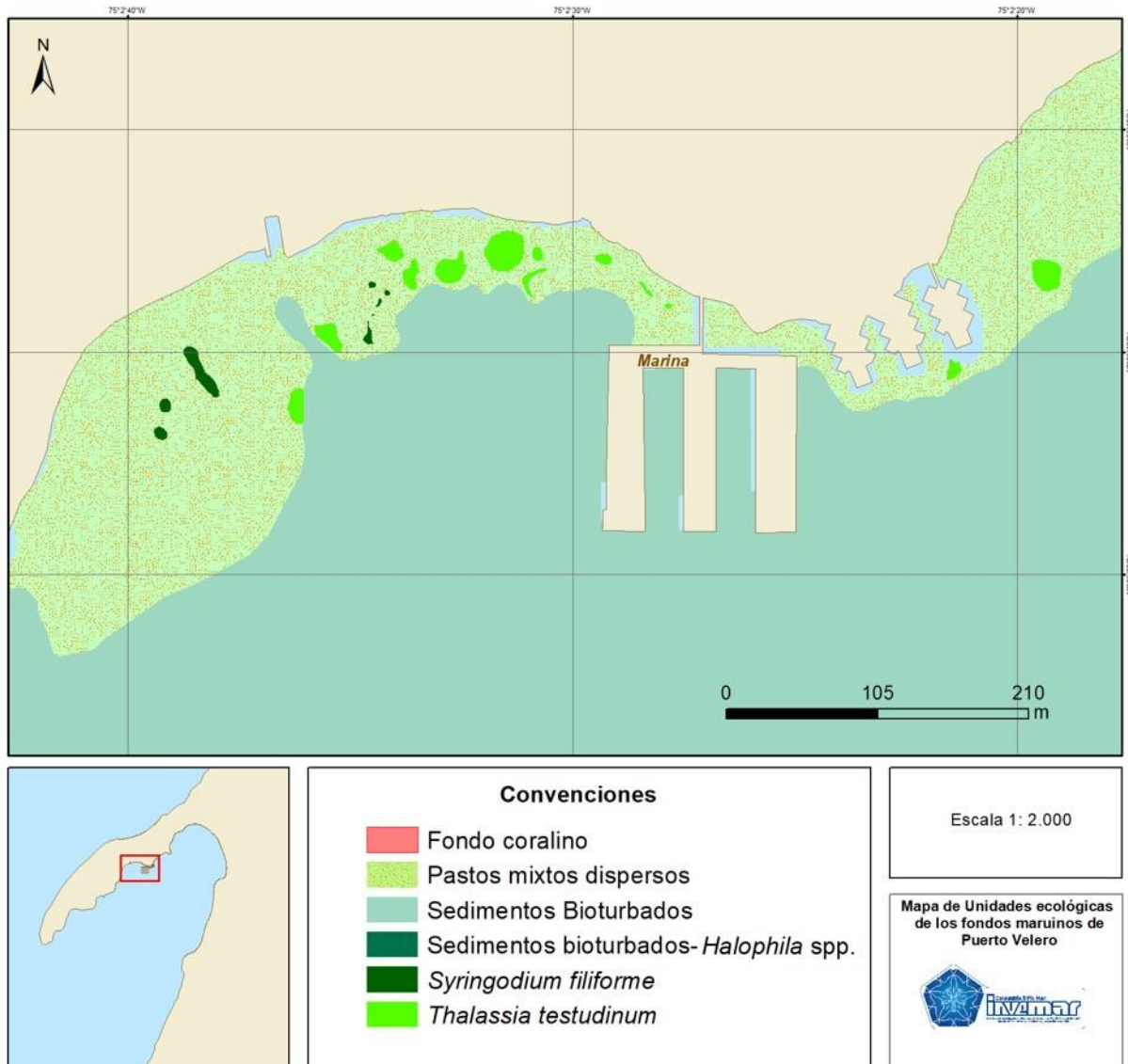


Figura 5-19. Área adyacente a la marina donde se desarrollan la mayor parte de los parches de pastos marinos de Puerto Velero. Fuente: LabSIS- INVEMAR 2023

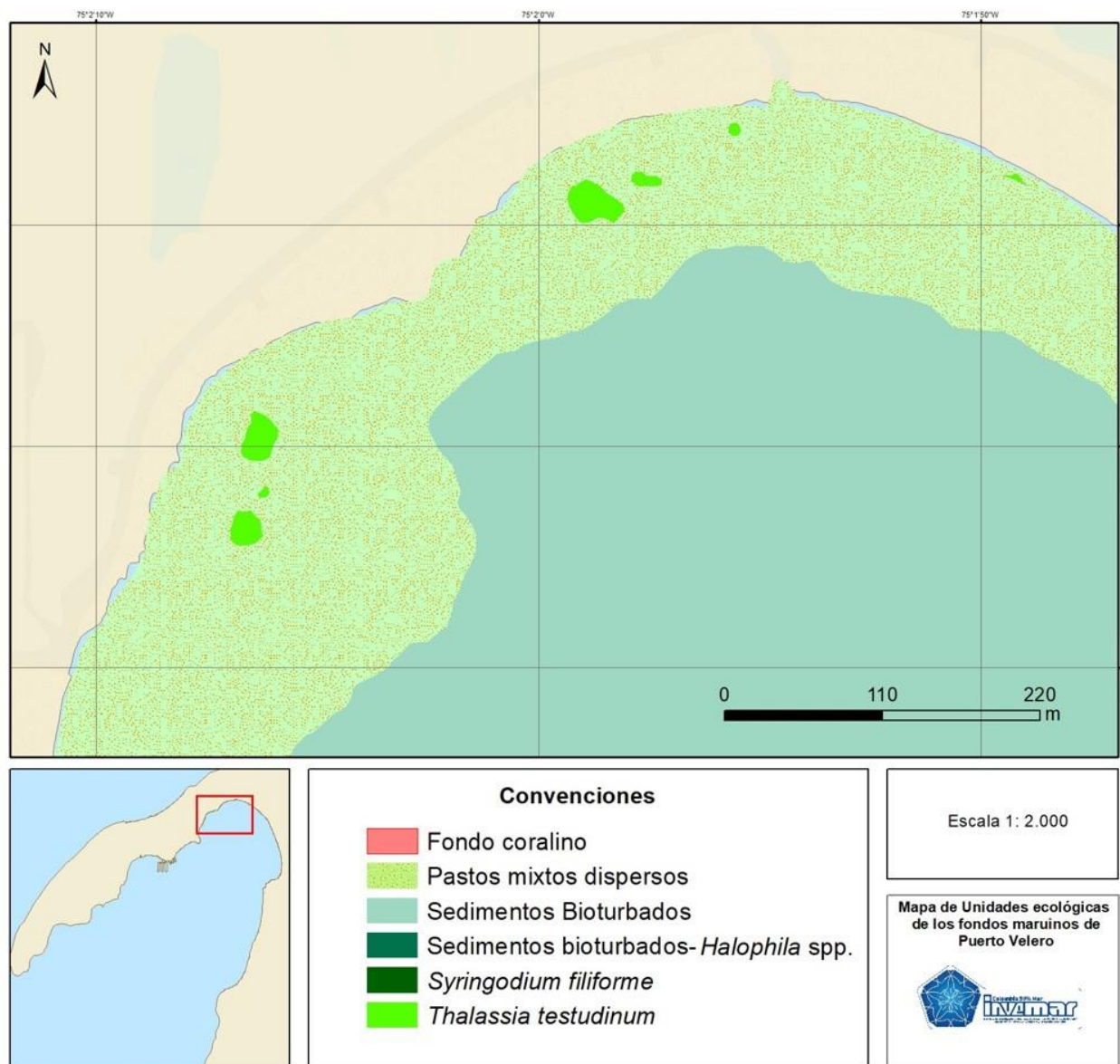


Figura 5-20. Parches de pasto marino que se encuentran en el costado norte de Puerto Velero. Fuente: LabSIS-INVEMAR 2023.

5.3.3 Valoración de factores de degradación y recomendaciones para la prevención y protección ambiental

5.3.3.1 Identificación de factores de degradación ambiental

Los factores de degradación ambiental identificados en 2023 complementaron el muestreo realizado en el año 2022 con el Convenio 010 de 2022. En la Figura 5-21, se muestran los ecosistemas, cuerpos de agua, zonas urbanas, áreas turísticas y las presiones identificadas a

partir de los recorridos en campo en la ensenada de Puerto Velero 2023, encontrándose nuevamente disposición inadecuada de residuos sólidos, algunos puntos de vertimientos y rellenos de playa realizados por la misma población para evitar la erosión costera.

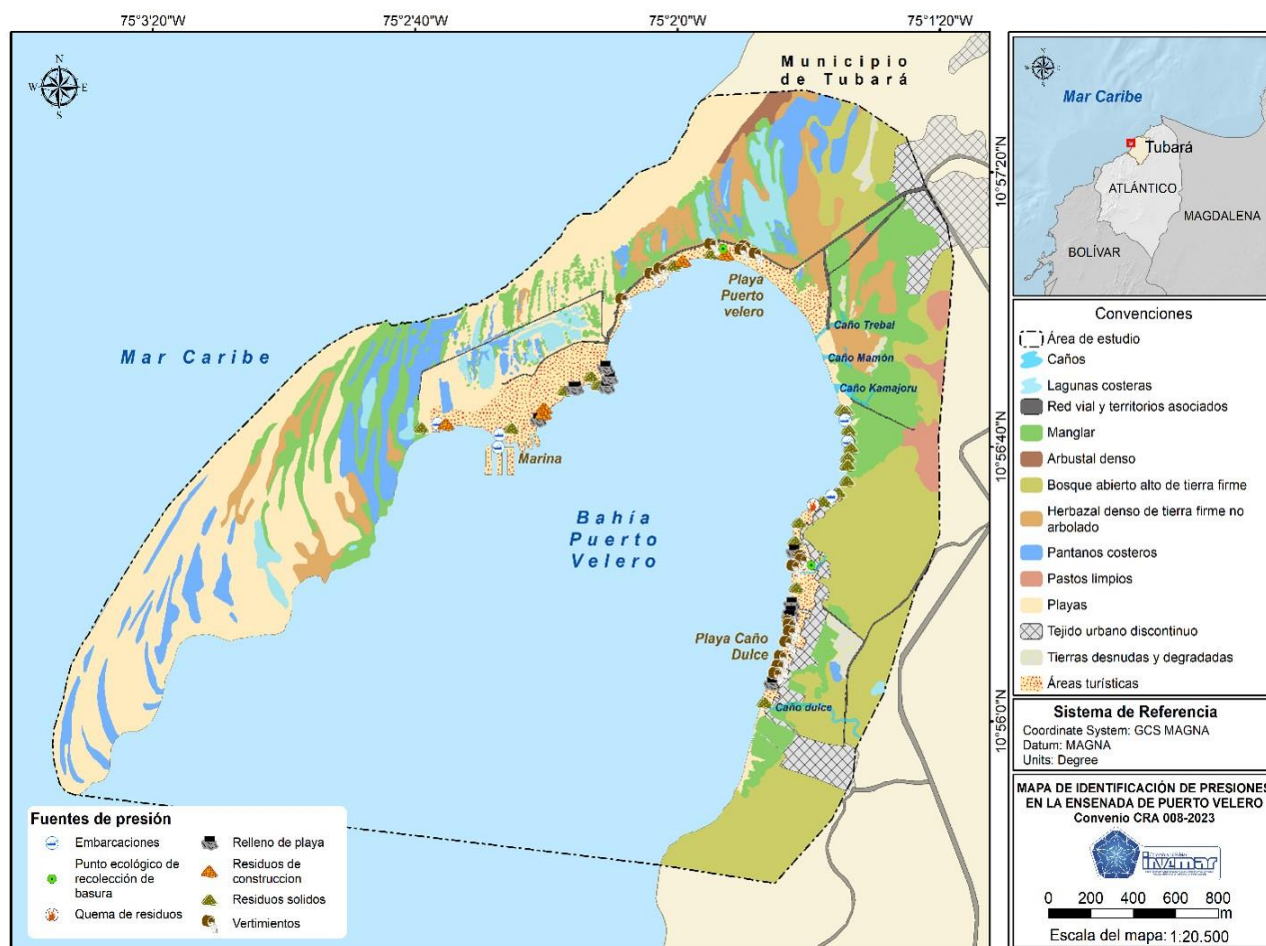


Figura 5-21. Mapa de ubicación de presiones identificadas en la ensenada de Puerto Velero, Atlántico.

Rellenos de playa

Los rellenos de playa se presentan como forma artesanal de mitigación de los efectos de la erosión costera en esta zona. Por lo tanto, fue una de las presiones que más se presentan en toda la línea de costa de la ensenada de Puerto Velero, empezando en la zona de la marina, seguido por las playas de Puerto Velero y Caño Dulce, que son los sectores más afectados por la erosión. Estas playas están siendo intervenidas por la misma población, que utilizan costales o sacos de plástico llenos de arena dispuestos de forma perpendicular a la línea de costa. Estos sacos al estar en contacto con el agua de mar y el sol se van deteriorando y fragmentando, lo cual genera más residuos que se convierten en meso y microplásticos y su presencia genera

impactos negativos no solo en la playa, sino en el cuerpo de agua y el ecosistema de pastos marinos, que se pudo observar durante el careteo (Figura 5-22).



Figura 5-22. Rellenos de playa con sacos de arena en el sector de Puerto Velero (A, B) y sector de Caño Dulce (C, D).
Fotos: Cristian Ruiz.

Residuos sólidos

En los recorridos se observó una disminución de los residuos sólidos dispuestos de manera inadecuada en comparación al año 2022, tanto en el sector de Puerto Velero (playa y la marina) como en el sector de Caño Dulce, donde se observaron puntos ecológicos de residuos plásticos y contenedores de basura (Figura 5-23). Sin embargo, en el sector cercano al manglar y en algunos sectores de la playa se encontraron puntos de acumulación de residuos sólidos, principalmente de material de vidrio, textiles, madera, cartón y restos de electrodomésticos (Figura 5-24). La mayor procedencia de estos residuos está asociada a la disposición inadecuada en la playa de Caño Dulce, en particular en la zona de pescadores, que manifestaron que no cuentan con un sistema de recolección de residuos, razón por la cual optan por quemarlos o enterrarlos en sitio.



Figura 5-23. Puntos ecológicos de recolección de plástico sector Puerto Velero (A, B, C) y sector Caño Dulce (D).
Fotos: Cristian Ruiz



Figura 5-24. Residuos sólidos identificados al interior del manglar de la marina de Puerto Velero (A), residuos de material vegetal en la playa de Puerto Velero (B) y puntos de acumulación de diferentes residuos sólidos, en especial, plástico, vidrio y electrodomésticos en el sector de Caño dulce en la zona de pescadores (C y D). Fotos: Cristian Ruiz.

Durante la inspección subacuática se identificaron residuos sólidos en la zona donde se encuentran ubicados los pastos marinos, entre los que se destacan, fibras de los costales fragmentados (mesoplásticos), envolturas de alimentos y latas de aluminio, lo que pone en evidencia el escaso manejo de residuos derivados de las actividades turísticas que se desarrollan en el sector (Figura 5-25). Estos residuos al encontrarse al interior del agua, pueden afectar el paso de la luz hacia los pastos marinos, impidiendo que se realice el proceso de fotosíntesis y en algunos casos el enterramiento de los mismos ([Blanco et al., 2023](#)). Además, los meso y microplásticos pueden estar disponibles para la fauna marina en la columna de agua, o pueden ser atrapados en los sedimentos. Se ha demostrado que los microplásticos quedan adheridos a las hojas, raíces y rizomas, ocasionando que las especies que se alimentan de los pastos marinos, ingieran de manera accidental estas partículas ([Fernández, 2022](#)).

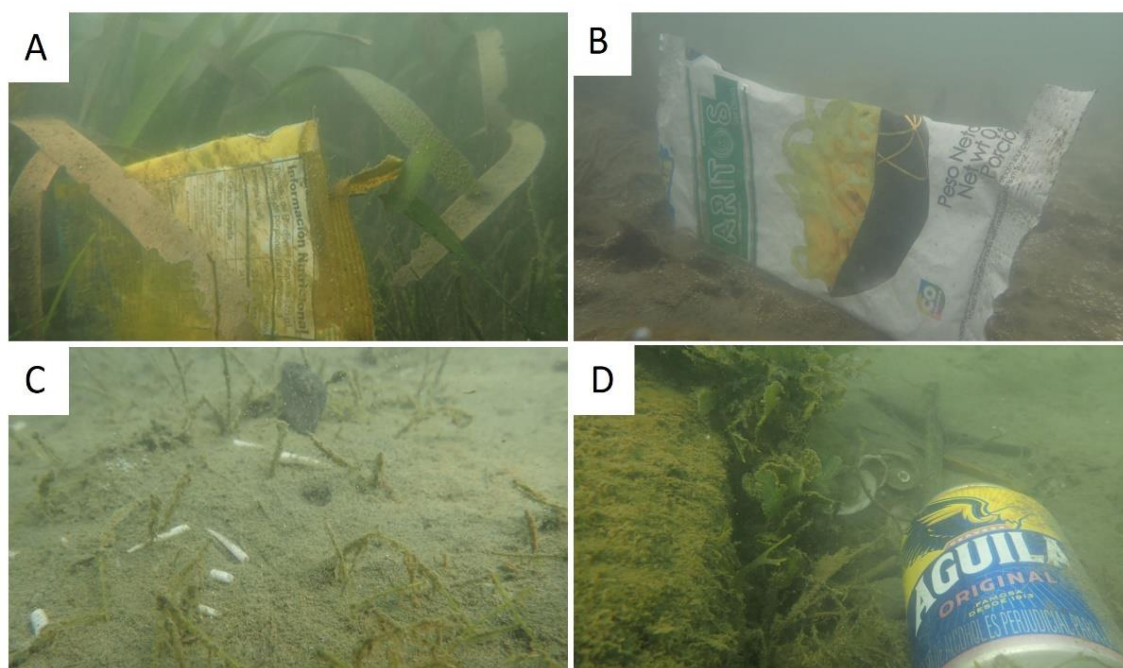


Figura 5-25. Residuos de empaques de comida observados en el fondo de la columna de agua y circundante al ecosistema de pastos marinos en la ensenada de Puerto Velero (A y B), fibras de costales deteriorados (C) y latas de aluminio (D). Fotos: Derly Rojas.

Cambios en el uso del suelo y sedimentación

Durante los espacios de encuentro con la comunidad se identificó el cambio del uso del suelo como un tensor que se presenta desde la cuenca alta y media del sector de Caño Dulce, derivado de actividades de construcción cercanas a los cuerpos hídricos que desembocan a la ensenada de Puerto Velero (Figura 5-26 A y B), estas actividades de adecuación y nivelación de terrenos pueden ocasionar remoción de la vegetación y problemas ambientales en laderas y cauces vinculados con la pérdida de áreas protegidas con vegetación, el incremento de la erosión y la

incorporación de sedimentos a la corriente, hasta alterar los ecosistemas naturales ([Duque y Escobar, 2016](#))

Por otro lado, se observó acumulación de sedimentos en el fondo de las playas de Puerto Velero y Caño Dulce (Figura 5-26 C), proveniente de los aportes de los arroyos y caños que desembocan en la ensenada. Así mismo, en la zona se ha documentado la influencia de los aportes del río Magdalena por la corriente de deriva litoral que moviliza sedimentos que se acumulan en las zonas de playa del departamento del Atlántico, entre ellas en la ensenada de Puerto Velero ([Posada y Henao, 2008](#)).



Figura 5-26. Desembocadura del arroyo Trebal en la playa de Caño Dulce (A y B), Sedimentación- materia orgánica sobre parche de pasto marino (c). Residuos de construcción en el cuerpo de agua (D). Fotos: Cristian Ruiz.

Vertimientos, pozas sépticas

En las playas de Puerto Velero y Caño dulce utilizan pozas sépticas como método de disposición final de sus aguas residuales, al no contar con un sistema de tratamiento ni alcantarillado. Sin embargo, pocas pozas cuentan con las características técnicas para un tratamiento adecuado, ya que en algunas se observó que están selladas (Figura 5-27A), lo que impide visualizar el proceso de mantenimiento preventivo, esto podría ocasionar que los residuos líquidos se filtren en el suelo, la arena y posiblemente lleguen directamente al mar.



Figura 5-27. Pozas sépticas en el sector de la playa de Puerto Veleró (A) y baño con su poza séptica en el sector de Caño Dulce (B). Fotos: Cristian Ruiz.

Durante los recorridos en la playa de Puerto Veleró y Caño Dulce se observaron múltiples tuberías de desagüe de aguas lluvias, canales y caños donde se drenan las aguas de escorrentías, lo que pueden traer residuos sólidos como botellas plásticas que podrían llegar de diverso tipo a la playa (Figura 5-28).



Figura 5-28. Canales y caños que se conectan con la playa de Puerto veleró y Caño dulce (A y B), canal de aguas lluvias en el sector de Caño Dulce (C y D). Fotos: Cristian Ruiz.

Fondeo, tráfico y mantenimiento de embarcaciones

El fondeo de las embarcaciones de recreo es una de las múltiples presiones que afectan a los ecosistemas marinos y no será ajeno a la zona de Puerto Velero. Las anclas y cadenas de fondeo de las embarcaciones producen un impacto negativo sobre los fondos marinos por causa del arranque y arrastre ([Cerchiello, 2018](#)), si bien es un factor que no se observó directamente durante el trabajo de campo, es importante reconocer esta presión potencial para el área y el ecosistema de pastos marinos en particular para identificar recomendaciones de manejo.

El tráfico de embarcaciones se presenta en el sector de Puerto Velero asociado a la marina, donde se ubican diferentes tipos de embarcaciones como yates, veleros y lanchas con motor fuera de borda; y en el sector de Caño Dulce hay lanchas de menor tamaño, principalmente de los pescadores para realizar sus actividades cotidianas (Figura 5-29A y B).

El mantenimiento de las embarcaciones se realiza en el sector de la marina en dos puntos de la playa, el primero está ubicado al final de la marina cerca de la zona de manglar y es únicamente para embarcaciones de mayor tamaño (Figura 5-29C) y el segundo punto queda cerca a la playa de Puerto Velero y es utilizado para el cambio de repuestos y cargue de combustible de embarcaciones de menor tamaño (Figura 5-29D). Aunque en la salida de campo no se evidenció disposición inadecuada de residuos como el año pasado (recipientes de pintura, residuos oleosos ni de grasas y aceites), estas actividades deben tener control y vigilancia para evitar generar residuos de tipo peligroso, que, si no son manejados de forma adecuada, pueden afectar las condiciones naturales de la playa.



Figura 5-29. Fondeo de Embarcaciones en la marina de Puerto Velero (A) y fondeo de embarcaciones de pescadores en la playa de Caño Dulce (B), zona de mantenimiento de embarcaciones (C y D). Fotos: Cristian Ruiz.

Quemas de residuos

Las quemas de residuos se observaron en el sector de caño Dulce cerca de la zona de pescadores (Figura 5-30), las cuales son realizadas principalmente por la comunidad que está asentada en el sector norte de la playa, argumentando que no cuentan con el servicio de recolección, por lo cual muchos de ellos utilizan este método de eliminación o en ocasiones los entierran.



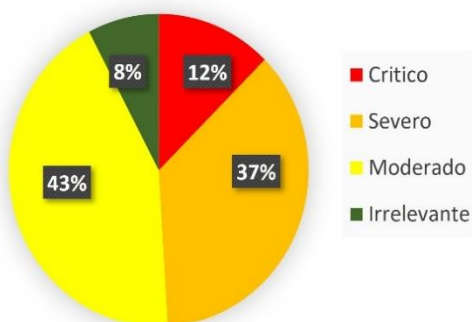
Figura 5-30. Quemas de residuos en la playa de Caño Dulce. Fotos: Cristian Ruiz.

5.3.3.2 Evaluación de impactos potenciales

5.3.3.2.1 Matriz de impactos

Los resultados de la valoración de impactos potenciales en la Ensenada de Puerto Velero Atlántico, mostraron un total de 104 impactos, de los cuales el 12% fueron considerados críticos, el 37% severos, 43% moderados y el 8% irrelevantes (Figura 5-31A). Los impactos críticos se relacionaron con las construcciones aledañas al sistema fluvial y el fondeo, tráfico y mantenimiento de embarcaciones con un 31%, relleno de playa con costales de plástico 23% y el vertimiento (aguas residuales y aguas pluviales) y pozas sépticas 15% (Figura 5-31B).

A Porcentaje de impactos en la Ensenada de Puerto Velero



B Porcentaje de impactos críticos en la Ensenada de Puerto Velero

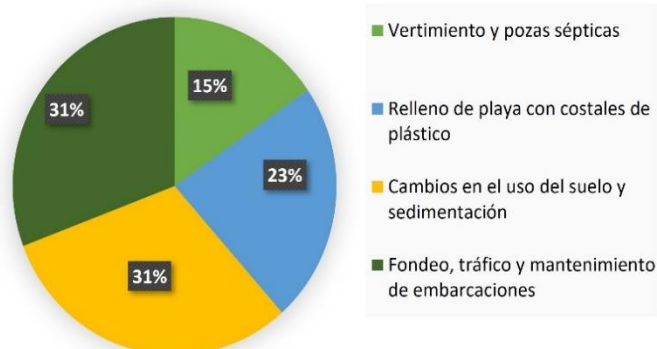


Figura 5-31. Resultados de la evaluación de impacto en la Ensenada de Puerto Velero, Atlántico

Cambios en el uso del suelo y sedimentación

Los cambios en el uso del suelo y sedimentación, fue la presión que tuvo un total de dieciséis (16) impactos, de los cuales tres (3) estuvieron en la categoría crítica, nueve (9) en la categoría severa y cuatro (4) en moderada (Anexo 7).

De acuerdo a la información recopilada en los talleres con la comunidad, esta presión es una de las más representativas en la zona de estudio, ya que se ha venido presentando en la zona durante los últimos años. Los desechos y residuos de las construcciones en la mayoría de los casos son depositados en los sistemas fluviales generando alteración del flujo del agua a causa de encauzamientos, reducción o incremento de nutrientes, sedimentos y contaminantes ([Torres et al., 2014](#)). Así mismo, se ha documentado en ([Posada y Henao, 2008](#)) que la pluma del río Magdalena también beneficia la llegada de sedimentos, los cuales se acumulan en todo el litoral costero, generando desagrado a los turistas por lo que les impide bañarse en las zonas donde el sedimento está más concentrado (zona este de la ensenada es el punto focal). Esto favorece la pérdida de otras actividades turísticas que podrían ser aprovechadas por los operarios para generar ingresos, como el snorkel y zonas de baño.

Esta problemática para Puerto Velero, de acuerdo con [INVEMAR, 2007](#) está asociada a procesos de planificación deficiente y la falta de medidas de manejo acorde a las necesidades de estas áreas, generando la alteración de los flujos hídricos, destrucción de la estructura vegetal ribereña y cambios en el uso del suelo; lo anterior corroborado por [Ruano, 2017](#) quién menciona que la producción de sedimentos es un indicador de la cantidad de material que ha sido erosionado mecánicamente, de forma antrópica aumentando el transporte fluvial de sedimentos a través de actividades como el cambio en el uso del suelo (expansión urbana, deforestación, agricultura, etc.)

Dentro de las consecuencias de esta problemática, se tiene que los sedimentos están actuando como vectores de todo tipo de contaminantes que van desde materia orgánica, hasta elementos tóxicos que llegan a generar la alteración de la calidad del agua (contaminación biológica general, bajos niveles de oxígeno disuelto, alta demanda biológica de oxígeno, entre otras) ([INVEMAR, 2007](#)).

Asimismo, la acumulación de sedimentos y residuos en los ecosistemas marinos, representa un riesgo potencial para el equilibrio ecológico de las especies marinas, especialmente de las plantas acuáticas, debido a que los sólidos que quedan suspendidos en la columna de agua e incluso los sedimentos que llegan hasta el fondo, impiden el paso de luz hasta las plantas, por lo que se afecta el proceso de fotosíntesis causando su muerte por asfixia; así mismo, se reduce el acceso de nutrientes esenciales debido a alteraciones en las capas de intercambio y se pueden producir cambios en las características físicas de la superficie del fondo (reemplazo de sustratos por partículas inestables) ([Flórez-Leiva et al, 2010](#)). Con esto, sumado a lo observado

en las inspecciones subacuáticas, se puede decir que los pastos marinos ubicados en la Ensenada de Puerto Velero, pueden estar presentando este tipo de afectaciones puesto que algunos parches estaban cubiertos por fango y materia orgánica.

Relleno de playa con costales de plástico

Los rellenos de playa con costales de plástico obtuvieron un total de diecinueve (19) impactos, de los cuales cuatro (4) están en la categoría crítica, cinco (6) en severos, nueve (8) en moderados y uno (1) es irrelevante (Anexo 7); estos rellenos son el resultado de las soluciones propuestas por la comunidad para detener la erosión costera que se está presentando en la zona. La mayoría de los rellenos identificados están en estado de degradación, generando residuos plásticos y microplásticos en el agua.

Los microplásticos pueden ser atrapados en los sedimentos de los pastos marinos, permitiendo que se encuentren disponibles para la fauna marina, ya que se ha demostrado que los microplásticos quedan adheridos a las hojas, raíces y rizomas de estas plantas, ocasionando que las especies que se alimentan de los pastos marinos, ingieran de manera accidental estas partículas ([Fernández, 2022](#)), representando una amenaza a largo plazo, no solo por el bloqueo mecánico de tracto digestivo, sino por su alta toxicidad, llegando a generar daños en órganos importantes como el corazón y el hígado ([Wright et al., 2013](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2020](#)). Los efectos de la acumulación de MPs se pueden encontrar en todos los niveles tróficos, lo que constituye una amenaza potencial para los depredadores, incluyendo al humano ([Garcés-Ordóñez et al., 2019](#)).

Fondeo, tráfico y mantenimiento de embarcaciones

El fondeo, tráfico y mantenimiento de embarcaciones, obtuvieron un total de quince (15) impactos, de los cuales cuatro (4) estuvieron en la categoría crítica, tres (3) en la categoría severa, cuatro (4) en moderada y cuatro (4) fueron irrelevantes (Anexo 7); los impactos críticos se asociaron a la pérdida de cobertura del pasto marino, afectación al sustrato de crecimiento (muerte de la vegetación acuática), taponamiento de los pastos marinos por la resuspensión de sedimento por la acción de las propelas de la lancha, afectación y pérdida de hábitas de especies acuáticas.

De acuerdo con literatura, la presión ejercida por las embarcaciones de motor, genera una amenaza al ecosistema de pastos marinos, puesto que las hélices pueden causar fraccionamiento de las praderas y consigo impactos negativos a la fauna asociada. Una vez las praderas resultan afectadas por este tipo de intrusión, es difícil la recuperación de su cobertura ([Short y S. Wyllie-Echeverría, 1996](#)). Los efectos causados por el movimiento de las hélices pueden alterar la matriz del rizoma de los pastos, dejando zanjas estériles conocidas como espiráculos de hasta 50 cm de profundidad y varios metros de largo ([Hammerstrom et al., 2007](#)).

Los inadecuados procedimientos de tanqueo y mantenimiento de las embarcaciones que en ocasiones no son realizadas en tierra, pueden ocasionar contaminación del agua por derrames accidentales de combustible o vertimiento de sustancias oleosas, grasa o aceite, pueden llevar a la degradación de las praderas de pastos marinos. Es importante mencionar que los pastos marinos son considerados bio-indicadores de la calidad del ambiente, por lo que alteraciones negativas en la estructura y cobertura, se manifiestan como una baja calidad del agua ([Arellano-Méndez et al., 2016](#))

Vertimiento y pozas sépticas

En cuanto al vertimiento de aguas residuales y pozas sépticas se obtuvo un total de catorce (14) impactos, de los cuales dos (2) estuvieron en la categoría crítica, cinco (5) en la categoría severa y siete (7) en moderada (Anexo 7). Estos resultados se pueden asociar a que la zona no cuenta con un sistema de alcantarillado y utilizan pozas sépticas como sistema de tratamiento para disponer las aguas residuales. Sin embargo, la mayoría son construidas por los mismos pobladores de forma convencional sin ningún rigor técnico para el adecuado tratamiento de las aguas, y otras se encuentran selladas, lo que impide visualizar el proceso de mantenimiento preventivo, estos sistemas al no contar con un mantenimiento periódico pueden ocasionar infiltraciones en la arena o escorrentías que lleguen directamente al mar.

Otro factor asociado son las tuberías de desagüe de aguas lluvias, canales abiertos y caños donde se drenan las aguas de escorrentías provenientes de las zonas ganaderas y agrícolas, aportando residuos orgánicos que pueden llegar a la línea de costa de la ensenada de Puerto Velero.

El vertido de aguas residuales en zonas cercanas a los pastos marinos puede generar un aporte de nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo en la columna de agua lo que estimula el crecimiento de fitoplancton y macroalgas oportunistas de crecimiento rápido, las cuales crecen en las hojas de los pastos marinos y dentro de él, obstruyendo el paso de luz, sometiendo a estrés y provocando su muerte, particularmente cuando los consumidores de epífitas han sido removidos, como ocurre en las áreas de intensa actividad ([Díaz y Garzón, 2001](#)). Algunos efectos asociados a estos cambios ambientales son la disminución de cobertura y densidad, cambios morfológicos foliares, alteraciones en el desarrollo de las raíces y sustitución de los pastos marinos por especies invasoras ([Morales-Ojeda et al., 2019](#)). Por lo tanto, el grado de epifitismo y las microalgas observadas en algunas zonas dentro del agua, puede servir como indicador del mal estado ambiental no solo de las praderas de pasto marino sino también de los ecosistemas adyacentes como los corales y esponjas que se visualizaron en la inspección subacuática.

5.3.3.2.2 Matriz Vester

La evaluación de la matriz Vester que relacionó la dependencia e influencia que tiene cada variable (tensor) con las demás mostró que el tensor que tiene mayor influencia sobre los demás son los cambios del uso del suelo que se realizan en las microcuencas que desembocan en la ensenada de Puerto Velero (P7; Tabla 5-5). La alta puntuación del tensor se debe a su influencia sobre los demás tensores, interpretándose que hay una relación directa o fuerte con la sedimentación y residuos sólidos por deriva y escorrentía; hay una relación semi-directa, o media con mayor producción de residuos sólidos en playa y vertimientos de agua residual y pozas secas.

Tabla 5-5. Matriz Vester de tensores de pastos marinos en Puerto Velero.

Código	Tensor	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	INFLUENCIA
P1	Residuos sólidos generados en playa	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
P2	Vertimientos y pozas sépticas	1	0	0	0	2	0	0	0	0	3
P3	Erosión costera	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
P4	Sedimentación	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
P5	Materia orgánica	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
P6	Residuos sólidos por deriva y escorrentía	1	0	0	2	2	0	0	0	0	5
P7	Cambios del uso del suelo	2	2	0	3	1	3	0	0	1	12
P8	Fondeo, tráfico y mantenimiento de embarcaciones	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P9	Control de erosión con sacos de arena	2	0	0	0	2	0	0	1	0	5
DEPENDENCIA		7	2	0	7	9	3	0	1	4	28

Los cambios del uso del suelo y las construcciones llevadas a cabo en las cercanías de arroyos y ríos, junto con la eliminación de la capa vegetal circundante, representan amenazas significativas para el medio ambiente y su calidad. La alteración de esta barrera natural, proporcionada por la vegetación, tiene consecuencias notables: se observa un aumento en la escorrentía superficial y una disminución en la retención de sedimentos y nutrientes ([Alvarado et al., 2014](#); [Quintero et al., 2021](#)). También conlleva a un aumento en la población, que genera una mayor cantidad de residuos sólidos, cuyo destino y manejo determinarán su eventual llegada a los océanos ([Ritchie et al., 2023](#)), siendo este el segundo tensor que mayor influencia tuvo.

Frente al tensor de residuos sólidos por deriva y escorrentía su alta puntuación se le atribuye a que causa de forma semi-directa o tiene una relación media con la generación de materia orgánica y que se genere sedimentación y tiene una relación débil con los residuos sólidos presentes en las playas.

El control de la erosión con sacos de arena, igualmente tuvo una puntuación alta de influencia ya que, a causa de la degradación natural de los sacos plásticos que contienen la arena, se desprenden fragmentos grandes de material debido a la fragmentación y posteriormente son una fuente de microplásticos que llegan a los pastos marinos, sobre estos sacos también se observan macroalgas y hay una relación débil o de causa indirecta con el tráfico de embarcaciones ya que al generarse mayor amplitud de playa el atractivo turístico es mayor y aumenta un poco el tráfico de embarcaciones.

Los tensores que ejercen menor influencia sobre los demás tensores fueron los residuos sólidos generados en playa, la sedimentación y el fondeo, tráfico y mantenimiento de embarcaciones. Por otro lado, los tensores que tienen mayor dependencia, es decir que su presencia está condicionada a que otros tensores existan o se generen fue la presencia de materia orgánica (P5; Tabla 5-5).

En la Figura 5-32 están clasificados en 4 cuadrantes (pasivos, críticos, indiferentes, activos) los tensores de acuerdo a su interrelación (valor de dependencia e influencia). Según el cuadrante en que se encuentre el tensor indica la atención y manejo que se requiere. El cuadrante de tensores indiferentes fue el que contuvo la mayor cantidad de tensores (i.e. P2, P3, P6, P8, P9).

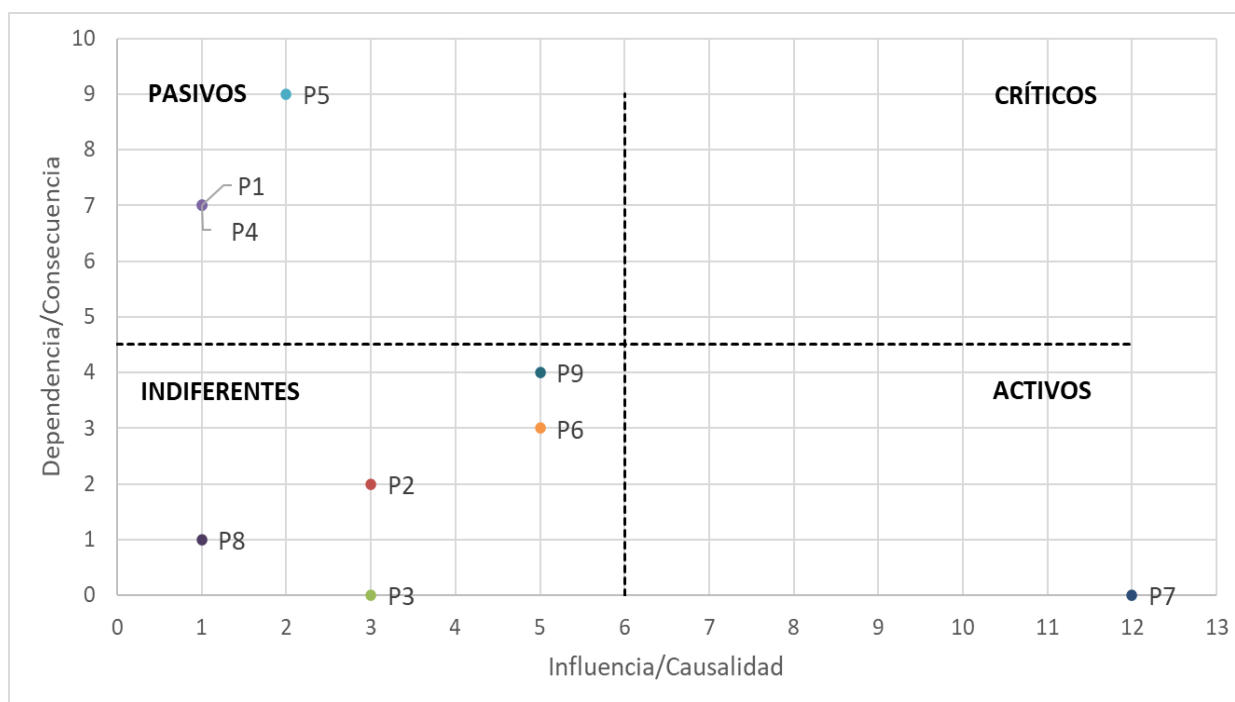


Figura 5-32. Dependencia e influencia de los tensores sobre los pastos marinos de Puerto Velero. P1: residuos sólidos generados en playa; P2: vertimientos de agua residual, pozas sépticas; P3: erosión costera; P4: sedimentación; P5: materia orgánica; P6: residuos sólidos por deriva y escorrentía; P7: cambios del uso del suelo; P8: fondeo, tráfico y mantenimiento de embarcaciones; P9: control de erosión con sacos de arena.

En el cuadrante de tensores activos se encuentran los cambios del uso del suelo (P7), el cuadrante hace referencia a tensores que influyen mucho sobre las demás variables, pero estos a su vez no dependen de los demás, estos tensores requieren la principal atención y manejo al ser fuente generadora de otros tensores.

Los tensores del cuadrante pasivo son los residuos sólidos generados en playa (P1), sedimentación (P4) y materia orgánica (P5), estos tensores al ser dependientes se solucionan o disminuyen al intervenir el tensor activo.

En la categoría denominada tensores indiferentes se encuentran los vertimientos y pozas sépticas (P2), erosión costera (P3), residuos sólidos por deriva y escorrentía (P6), fondeo, tráfico y mantenimiento de embarcaciones (P8) y control de erosión con sacos de arena (P9). Estos tensores se caracterizan por no ejercer influencia sobre los demás tensores ni ser afectados por ellos. A pesar de considerarse de baja prioridad, es imperativo hacerles seguimiento para eliminarlos o prevenir su transición hacia otras categorías.

5.3.4 Recomendaciones para la prevención y protección ambiental

5.3.4.1 Identificación participativa de las condiciones ambientales

Para la formulación de recomendaciones para la prevención y protección ambiental de los ecosistemas marinos y costeros, se realizó un espacio con la comunidad local de Puerto Velero y Caño Dulce, donde participaron un total de 21 personas (9 hombres y 12 mujeres), que se dedican a las actividades de pesca, prestadores de servicios turísticos y residentes locales.

Durante el espacio se confirmó que la comunidad carecía de conocimientos acerca de la presencia de pastos marinos en su territorio, así como de la comprensión de los servicios ecosistémicos que este ecosistema brinda. No obstante, tras el espacio de sensibilización se logró contextualizar a los participantes sobre este ecosistema, permitiéndoles reconocer la existencia de los pastos marinos en la ensenada de Puerto Velero. Este proceso de concientización desencadenó un cambio de percepción significativo, ya que la comunidad pudo identificar y apreciar los diversos servicios ecosistémicos ofrecidos por los pastos marinos en su entorno local. Se evidenció la importancia de la divulgación y educación ambiental como instrumento clave para fomentar la participación comunitaria en la conservación de ecosistemas vulnerables.

Posteriormente, se identificó el perfil productivo del grupo de asistentes, que consistió en listar los principales oficios o actividades que desarrollan en la ensenada, luego se identificó la potencial relación que tienen con el ecosistema de pastos marinos (Figura 5-33), esto con el fin de conocer cómo la comunidad se relaciona en sus actividades diarias de manera directa o indirecta con el ecosistema de pastos marinos.



Figura 5-33. Actividad perfil productivo del grupo y su relación con los pastos marinos. Fotos: Cristian Ruiz

El perfil productivo del grupo estuvo compuesto por tres (3) oficios o actividades principales, entre ellas, la gastronomía o servicio de restaurante que es la actividad más representativa en la playa; la pesca artesanal; el comercio (atención a turistas) que envuelve actividades como ventas ambulantes de coco, artesanías, ropa, bebidas, entre otros.

Frente a la actividad de comercio (atención a turistas), se mencionó que los pastos marinos ayudan a la calidad del agua, a disminuir la turbiedad del agua y en efecto una playa con buenas condiciones ambientales atrae la llegada de turistas, también se mencionó la posibilidad de ofrecer servicios de careteo hacia las zonas de pastos, generando una nueva opción de atractivo turístico, sin embargo, se debe evaluar la viabilidad. Adicionalmente, se encontró que especialmente quienes prestan servicios de atención a los turistas y de servicios de restaurante juegan un papel importante en sensibilizar a los turistas y comunidad local acerca de la existencia e importancia del ecosistema de pastos marinos y de protegerlo.

5.3.4.2 Valoración participativa de impactos

Con los participantes se identificaron varias presiones antrópicas y naturales que potencialmente pueden degradar el ecosistema de pastos marinos, entre las cuales se listaron la inadecuada disposición de residuos sólidos en la playa, el arribo de residuos sólidos (basura marina) esorrentía y por deriva litoral; vertimientos y pozas sépticas, erosión costera, la sedimentación debido a los lodos de la pluma del río Magdalena y de las microcuencas que desembocan en la ensenada de Puerto Velero, como el arroyo Trebal, caños Mamón y Kamajoru, expansión urbana sobre estas microcuencas, materia orgánica y condiciones climáticas

extremas vendavales, tormentas, altas temperaturas. Con el listado, se procedió a calificar para cada presión identificada, el grado de afectación (alto, medio o bajo) que podría causar sobre el ecosistema de pastos marinos (Figura 5-34).

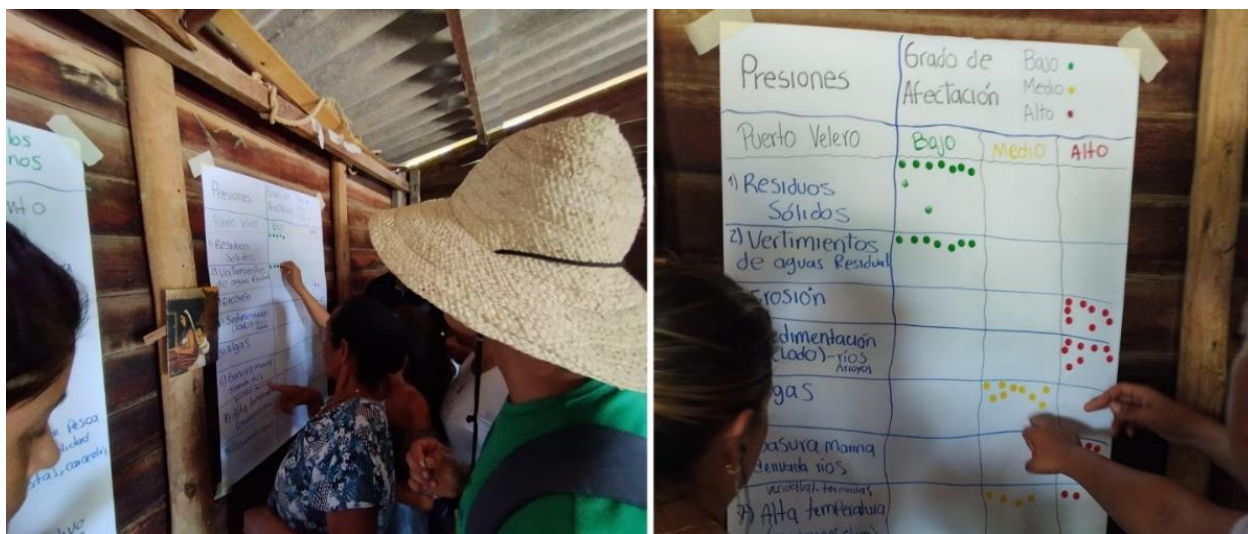


Figura 5-34. Identificación de factores de degradación y grado de afectación valorado por la comunidad local. Fotos: Derly Rojas.

De acuerdo con la valoración participativa, se determinó que las presiones con alto grado de afectación sobre los pastos marinos son la erosión costera y la sedimentación, seguido por la basura marina que llega por escorrentía. Mientras que los residuos sólidos generados por el turismo y los vertimientos y pozas sépticas generan baja afectación. En grado medio de afectación valoraron las condiciones climáticas extremas como vendavales y tormentas, la materia orgánica y el desarrollo urbano no planificado ya que genera tala de bosque, cambios de uso del suelo y remoción de capa vegetal (**Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**).

Tabla 5-6. Valoración cualitativa de la comunidad local sobre el grado de afectación de las presiones y sus impactos potenciales que afectan el ecosistema de pastos marinos en la ensenada de Puerto Velero.

PRESIONES ANTRÓPICAS Y NATURALES	GRADO DE AFECTACIÓN		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Residuos sólidos en playa	10		
Vertimientos y pozas sépticas	9	1	
Erosión costera			9
Sedimentación			10
Materia orgánica		9	3
Basura marina por deriva y escorrentía	1		8
Condiciones climáticas extremas (vendaval, tormentas)		5	5
Cambios del uso del suelo		7	2

A través de cartografía social se espacializaron las presiones identificadas que potencialmente afectan los pastos marinos de la ensenada de Puerto Velero. Se observó que la zona Este de la ensenada es el punto focal donde llegan residuos sólidos a través de los ríos y de los sedimentos, especialmente, por la desembocadura de los caños Trebal, Mamon y Kamajoru y por la pluma del río Magdalena (Figura 5-35).

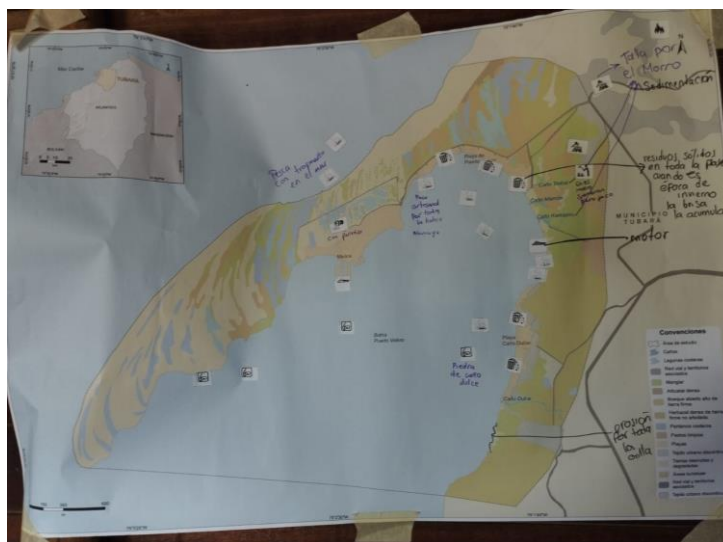


Figura 5-35. Espacialización de presiones naturales y antrópicas identificadas en la ensenada de Puerto Velero por parte de la comunidad

Complementario a los espacios de participación, se realizaron encuestas a la comunidad local y visitantes, con el propósito de conocer su percepción sobre el estado de las playas de la ensenada de Puerto Velero y el conocimiento que tienen frente al ecosistema de pastos marinos, que permita orientar las recomendaciones para la prevención y protección ambiental (Anexo 8).

Se aplicaron un total de 35 encuestas, de las cuales 12 fueron en la playa de Puerto Velero, 12 en la playa de la Marina y 10 en la playa de Caño dulce. De los encuestados el 50% osciló entre 25 y 40 años, el 44,1% son personas mayores de 40 años y un 5,9% son menores de 25 años. Del nivel académico, el 55,9% alcanzaron la secundaria (bachillerato), el 14,7% profesional de pregrado, 14,7% técnico, 8,8% profesional de postgrado y solo el 5,9% no tienen estudios o no terminaron la primaria.

De estos, el 44% eran turistas, el 32% residentes y el 24% personas que frecuentan las playas por trabajo prestando servicios turísticos de restaurante, venta de bebidas, artesanías, entre otros. Las actividades que principalmente realizan en estas playas son trabajo, baño o descanso, seguido por alojamiento y deportes náuticos (Figura 5-36). Entre los operadores turísticos, encuestados la mayoría son pescadores y empleados de restaurantes.

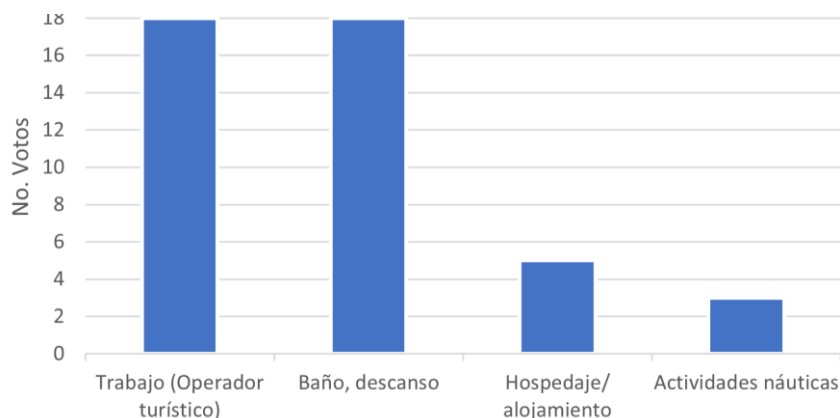


Figura 5-36. Actividades que realizan los encuestados en las playas de la ensenada de Puerto Velero

A los encuestados se les preguntó si conocían el ecosistema de pastos marinos, a lo que el 52,9% de encuestados afirmó que, si conocían o habían escuchado acerca de ellos, el 47,1% restante indicó que no reconocían este ecosistema. Sin embargo, después de una breve explicación del término y de mostrarles algunas fotografías de los pastos marinos, la gran mayoría reconoció que los pastos marinos son importantes o muy importantes dentro de la ensenada y posiblemente si han tenido contacto o algún acercamiento con estos, pero no conocían el termino correcto para nombrarlos (Figura 5-37).

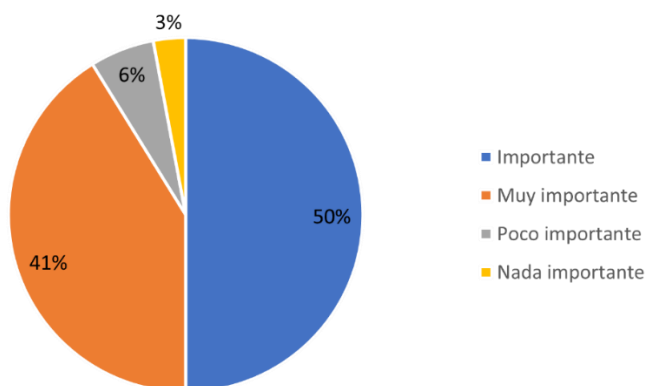


Figura 5-37. Percepción sobre el nivel de importancia de los pastos marinos como ecosistema presente en la ensenada de Puerto Velero y sus servicios ecosistémicos

Los principales servicios ecosistémicos que brindan los pastos marinos que reconocieron los encuestados fueron, zona de alimentación de peces y fauna marina con el 64%, 16% protección de la playa, y 10% en otros, que incluyó mitigación al cambio climático, filtración y remoción de contaminación en la columna de agua (Figura 5-38).

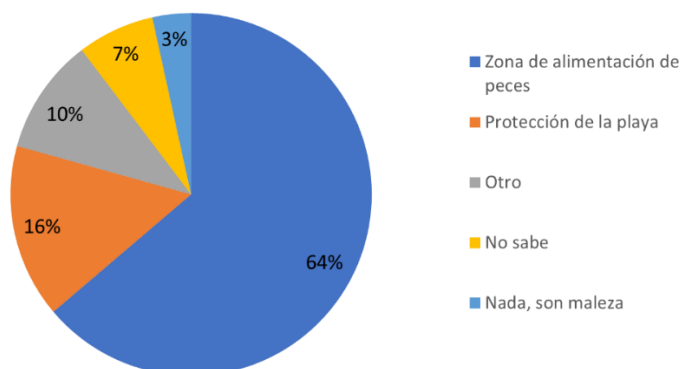


Figura 5-38. Percepción de los encuestados sobre los servicios ecosistémicos que ofrecen los pastos marinos

Frente a la pregunta sobre la afectación física de factores o actividades que pueden deteriorar los pastos marinos, los encuestados respondieron que principalmente la basura, arrancarlos, la navegación y el pisoteo son quienes causan la mayor afectación, en comparación con otras acciones o tensores presentes en las playas como vertimientos de aguas residuales, derrames de combustibles o aceites, deportes náuticos, entre otras (Figura 5-39).

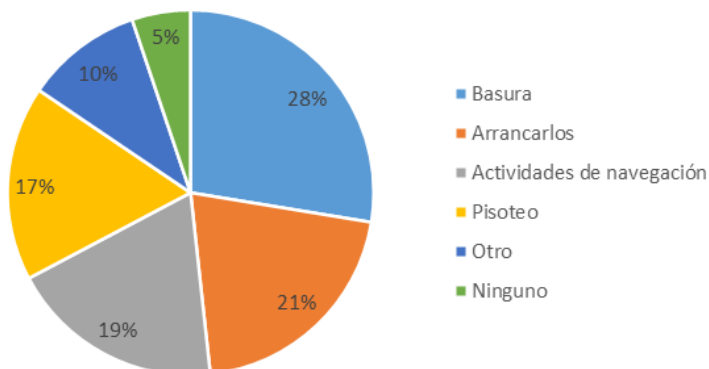


Figura 5-39. Percepción social de actividades que pueden causar mayor afectación física al ecosistema de pastos marinos en Puerto Velero, departamento del Atlántico.

Con respecto a las preferencias sobre el tipo de sustrato del fondo marino para actividades de baño, el 76,5% de los encuestados prefiere un fondo de solo arena, de estos, el 58,8% indicó que les parece desagradable encontrar vegetación en el fondo marino, especialmente para los turistas, que mencionaron que cuando encuentran algún tipo de vegetación en el mar se alejan del lugar. Al 20,6% les es indiferente el tipo de fondo, si encuentran vegetación lo ignoran y pueden pisarlo y continúan con las actividades de baño, y una sola persona prefiere que haya vegetación.

Frente a los múltiples tensores y problemáticas identificadas en la zona y con el propósito de indagar por alternativas de solución, se consultó sobre el tema de soluciones basadas en la

naturaleza a los encuestados. Inicialmente, se preguntó por el concepto y el 50% seleccionó la opción de que son acciones que emplean características, procesos y elementos naturales (infraestructura verde) para hacer frente a los desafíos socio-ambientales y el 50% restante respondió que no tenía conocimiento al respecto.

Ante la pregunta de si ¿los pastos marinos pueden ser una solución basada en la naturaleza, para mejorar las condiciones ambientales de la ensenada de Puerto Velero? el 61,7% respondió que sí, el 20,6% no sabe y 5,9% indicaron que no son una solución. También se consultó por las acciones que consideran que se deben implementar para cuidar el ecosistema de pastos marinos y evitar su degradación, a lo cual respondieron que se debe trabajar en educación y conciencia ambiental de la comunidad local y de turistas, realizar programas de pesca sostenible, mejorar la disposición y manejo de basuras, crear áreas de protección de pastos marinos, y otras acciones como identificar y señalizar las zonas de pastos e identificar las zonas de tráfico de embarcaciones (Figura 5-40).

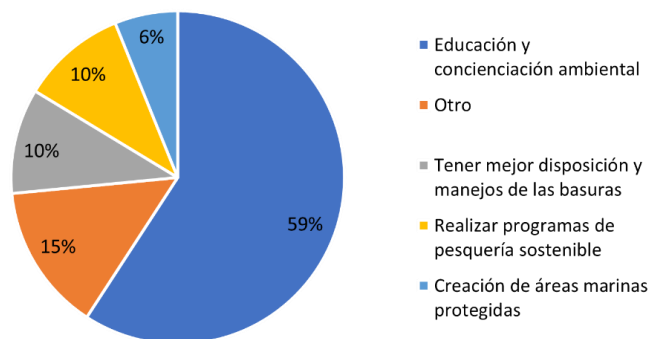


Figura 5-40. Acciones propuestas para la protección de los pastos marinos en la ensenada de Puerto Velero.

Por último, se preguntó si han estado vinculados anteriormente o conocen proyectos de cuidado, sensibilización o restauración de pastos marinos a lo que respondieron que no han estado vinculados anteriormente, ni conocen proyectos en ejecución en la zona. Por otro lado, han participado principalmente en jornadas de limpieza de playas y en menor medida de espacios de educación ambiental donde se ha brindado información general sobre los pastos marinos, técnicas de restauración de ecosistemas marinos y monitoreo de calidad de aguas.

Entre los temas que les gustaría profundizar para el cuidado ambiental de la ensenada de Puerto Velero mencionaron la limpieza de residuos en playas y el mar, restauración y monitoreo de ecosistemas marinos y costeros, conocimiento acerca de los pastos marinos, cuidado y protección de la playa (Figura 5-41).

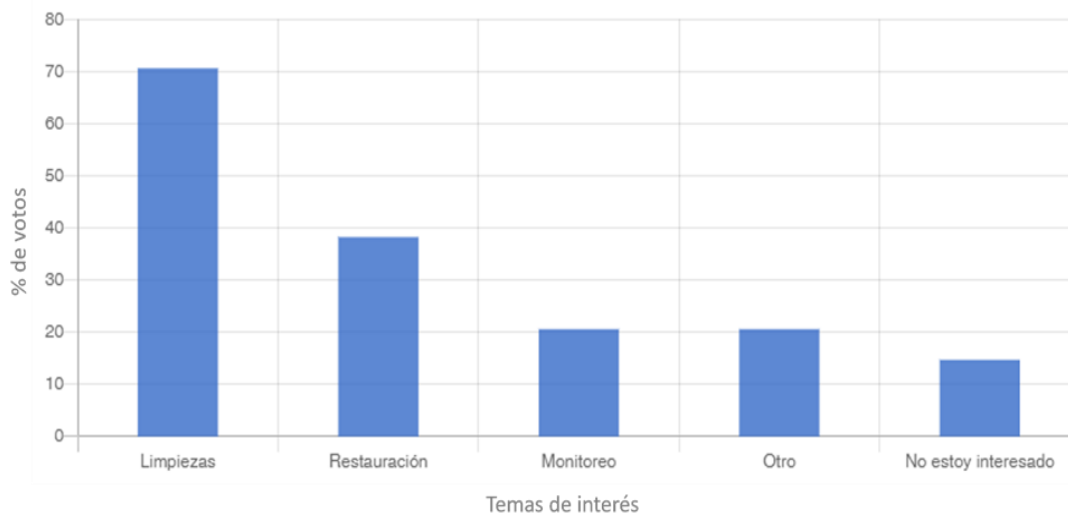


Figura 5-41. Temas de interés para profundizar para el cuidado ambiental de la ensenada de Puerto Velero.

5.3.4.3 Acciones propuestas por parte de actores clave: comunidad local e instituciones

En los espacios de trabajo con las comunidades de manera presencial, donde se plantearon algunas acciones o proyectos que se están desarrollando en Puerto Velero y otros que se desean ejecutar en la zona para que puedan solucionar las afectaciones ambientales que se están presentando en la zona costera y que potencialmente están afectando el ecosistema de pastos marinos (Anexo 9). En este espacio se trabajó una línea de tiempo, en la cual los asistentes escribieron las problemáticas y cambios que se han venido presentando en la Ensenada de Puerto Velero a lo largo de los años desde 1995, al igual que las acciones y proyectos ejecutados para mitigarlos (Figura 5-42A).

Complementario a las actividades con las comunidades el 14 de noviembre se realizó un taller virtual con instituciones para conocer los proyectos que están desarrollando y cuales tienen proyectados para mejorar las condiciones ambientales de la ensenada de Puerto Velero. En este espacio cada institución propuso acciones de mejora (Figura 5-42 B).

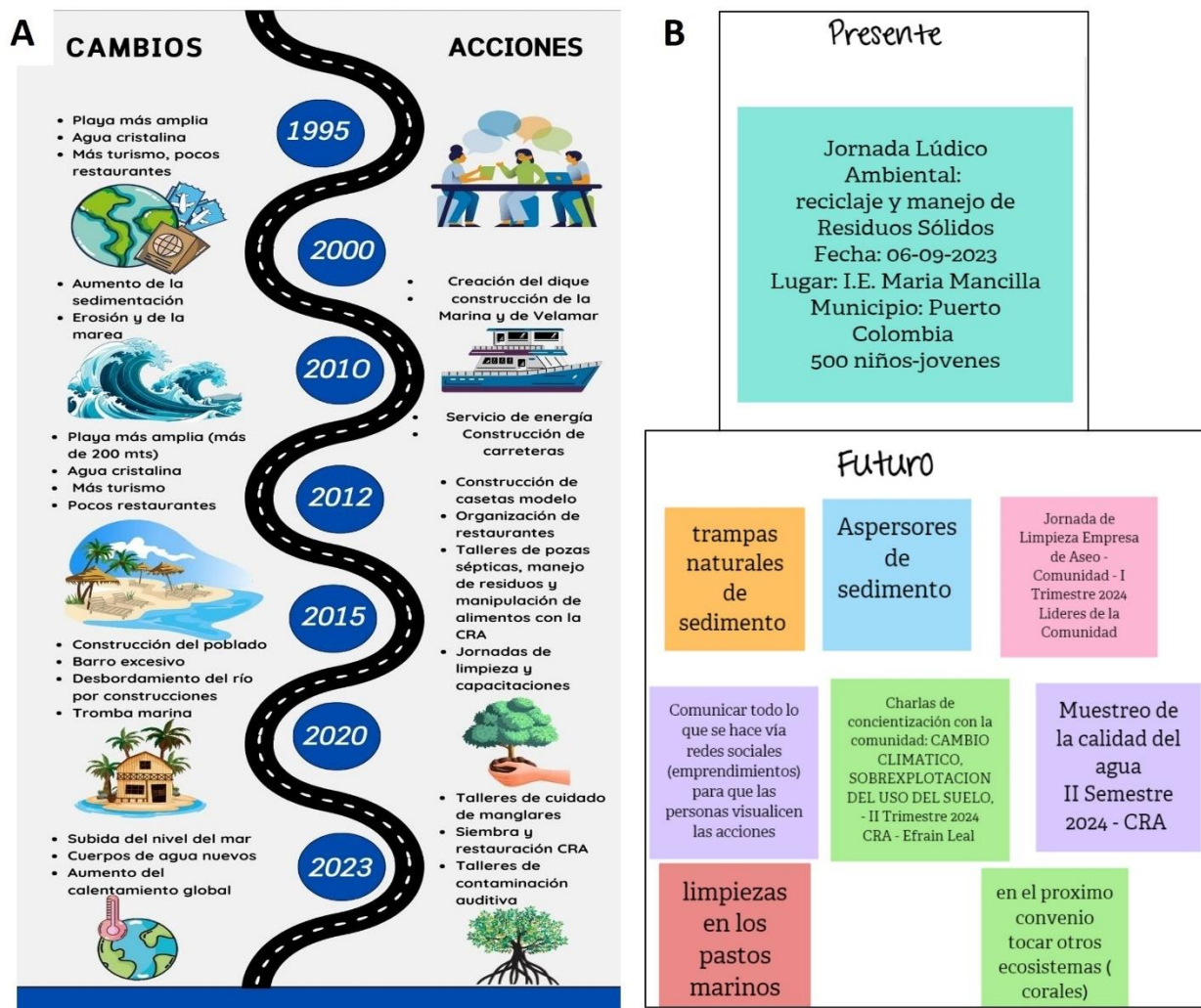


Figura 5-42. Línea de tiempo de cambios presentados en los últimos años y acciones que se han implementado y que se podrían realizar a futuro en la ensenada de Puerto Velero espacio con comunidades (A) y acciones propuestas por instituciones (B).

Algunas de las actividades y proyectos que mencionó la comunidad fueron talleres con la CRA desde el 2015, donde se han abordado temas de conservación del manglar (siembra, restauración y poda), manejo de las pozas sépticas, e implementación de puntos ecológicos para el manejo de residuos sólidos en las playas de Puerto Velero y Caño Dulce.

A través de tres preguntas orientadoras los participantes propusieron 18 acciones que consideran que se podrían desarrollar en el territorio para abordar los tensores y problemáticas ambientales actuales que afectan potencialmente a los pastos marinos. Así mismo, se identificaron actores que tiene la capacidad liderarlas y algunas necesidades para llevarlas a

cabo. Las respuestas incluyeron acciones desde la zonificación de playa, estudios de gestión ambiental, educación ambiental y sensibilización, entre otras (Tabla 5-7).

Tabla 5-7. Acciones propuestas por comunidades e instituciones enfocadas a la protección de los ecosistemas marinos de la ensenada de Puerto Velero

¿QUÉ ACCIONES CONSIDERA SE DEBEN DESARROLLAR?	¿QUIÉNES CONSIDERA QUE DEBEN REALIZARLAS?	¿QUÉ SE NECESITA PARA HACERLO?
- Reestablecer cauces naturales para evitar las inundaciones - Delimitar las playas con boyas en cuanto a las zonas de profundidad y entrada de medusas - Implementar más canecas de basura y avisos de información - Infracciones a los que no cumplan reglas - Aumentar la vegetación en los cauces de los arroyos - Espolones en forma de T - Poner en marcha estudios para la gestión del CRA - Campañas de saneamiento ambiental - Implementar rutas públicas de transporte - Creación de secretaría ambiental - Estrategias para reemplazar los sacos de arena actuales para que no afecten el mar - Programas educativos teórico prácticos - Jornadas de limpieza acompañadas del prestador de servicios públicos para la recolección de los residuos - Creación de trampas de sedimentos - Zonificación áreas y darles categorización de protección - implementación de viveros para recuperar áreas degradadas - Educación ambiental con enfoque en los ecosistemas marinos y costeros	- Alcaldía de Tubará - Gobernación - Empresa prestadora de servicio de aseo - La comunidad - DIMAR - CRA - Ministerio de turismo - Entidad de apoyo: INVEMAR	- Estudios de la playa (sedimento y erosión) - articulación de las comunidades con instituciones - Incluir Puerto Velero en los planes de desarrollo municipal (turismo y ambiental) - Estudios de aptitud turística en la ensenada de Puerto Velero - Promoción de la playa por parte de la gobernación y CRA - Campañas educativas (Alfabetización oceánica) para turistas y la comunidad - Tanques de aseo, señalización sobre los ecosistemas presentes y puntos ecológicos, pancartas de promoción de turismo - Seguimiento de puntos ecológicos por parte de las entidades que los implementaron - Plan integral con empresas para venta y reciclaje de residuos sólidos - Recursos económicos de la alcaldía e Tubará y la gobernación del Atlántico - Reuniones con líderes comunitarios y con la comunidad en general para hacer esa articulación de población con instituciones

Adicionalmente, de manera general y teoriza se identificaron algunas recomendaciones de prevención y protección ambiental que podrían adaptarse para la ensenada de Puerto Velero, considerando las condiciones de la zona, los tensores y los ecosistemas presentes (Figura 5-43).

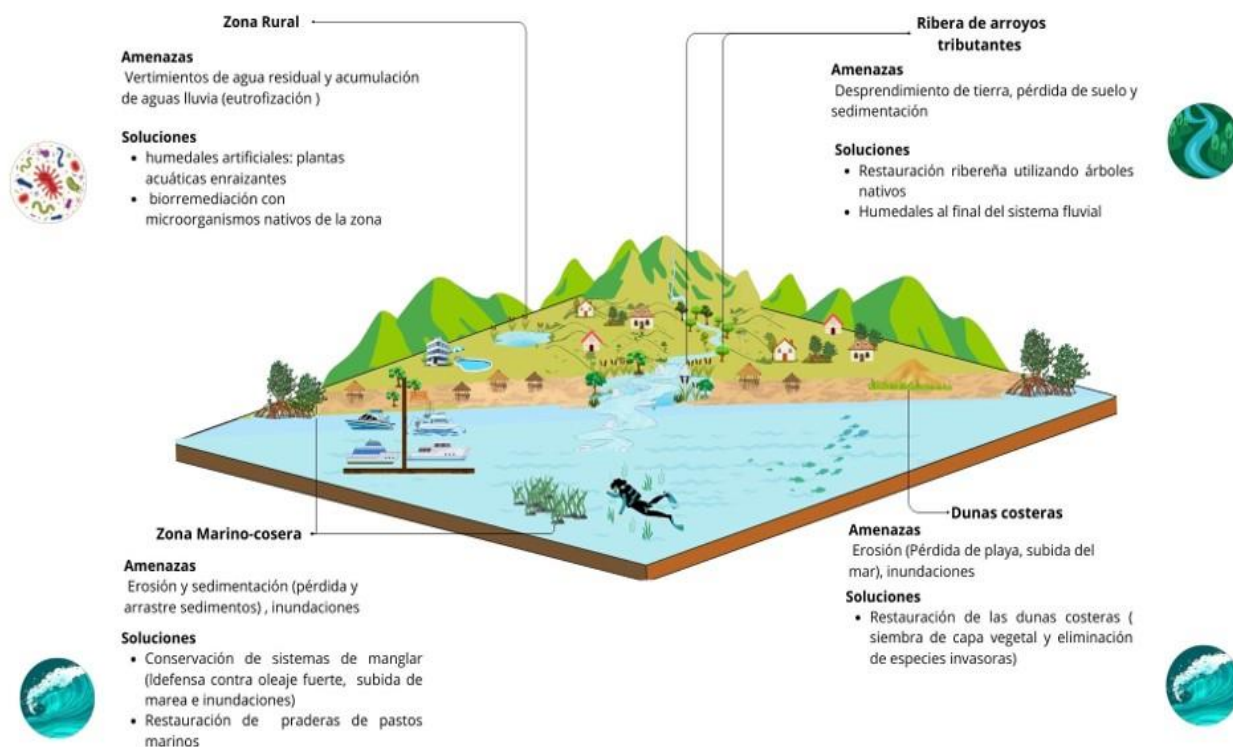


Figura 5-43. Esquema de recomendaciones de prevención y protección para la ensenada de Puerto Velero. Fuente: Elaboración propia.

5.3.4.4 Recomendaciones de prevención y protección

De acuerdo con la diferente información colectada en campo, el análisis de información secundaria y recolectada con los actores clave, es importante mencionar que en la ensenada de Puerto Velero se recomienda realizar un análisis de los avances en la implementación de los instrumentos de planificación y ordenamiento vigentes, identificando las brechas y vacíos para un adecuado manejo de los ecosistemas marinos y costeros presentes, sus usos actuales, potenciales y preponderantes. Realizar un análisis con enfoque socioecológico basado en información física, biótica y social que aborden los tensores naturales y antrópico identificados en el presente estudio, que permita análisis integral de micro y meso escala sobre la geología y dinámica costera para abordar los problemas de erosión costera que se identifica como uno de los principales impactos de la zona que no favorecen el desarrollo sostenible del turismo. Todas

las acciones que se propongan para la zona requieren contar con la participación de la comunidad local que aporte desde su visión las problemáticas reales de la zona. Así mismo, implementar acciones relacionadas con grupos de vigías ambientales, acciones de educación ambiental que incluya los ecosistemas marino y costeros de Puerto Velero, y demás acciones de protección ambiental y de prevención para fomentar las buenas prácticas ambientales.

De manera puntual, se realizaron recomendaciones para los diferentes tensores identificados en la Ensenada, (Tabla 5-8) que complementan las recomendaciones generales ya mencionadas.

Tabla 5-8. Recomendaciones para la prevención y protección de los ecosistemas marinos y costeros de la ensenada de Puerto velero

Tensor	Necesidades o requerimientos mínimos	Recomendación
Erosión costera	- Realizar estudios de morfoodinámica de playas y dunas, parámetros sedimentológicos, zonación y caracterización de vegetación de las dunas. - Seguimiento a la erosión costera y cambios geomorfológicos mediante análisis de línea de costa y cambios geomorfológicos. - Eliminar o controlar del sistema factores limitantes y tensionantes que inciden negativamente sobre los pastos marinos. - Complementar la información de línea base con levantamiento de información primaria: historia de la pradera (composición de especies, causas de pérdida), exposición al aire, olas y corrientes, tipo de sustrato y alta presencia de sedimentos orgánicos, tasa de sedimentación y presencia por disturbios animales (EAFIT y CARDIQUE, 2021; Vargas et al., 2012).	- Implementar medidas de protección y restauración pasiva de las praderas de pasto marino mediante neutralización de los factores limitantes y tensionantes que inciden de manera negativa sobre los sistemas (Mei et al., 2020). Estos ecosistemas, mejoran la calidad del agua mediante filtración (retención de material en suspensión y hundimiento de materia orgánica), protección costera contra la erosión (fijación y estabilización de sedimento por el complejo sistema de raíces y rizomas, disminución de resuspensión de sedimentos causada por olas y corrientes) - Realizar seguimiento de la extensión y caracterización de los pastos para identificar la necesidad de realizar restauración activa a partir de la siembra de las especies nativas de pastos de la Ensenada.
	- Trabajar mancomunadamente con los actores locales para incluirlos en los procesos de restauración ya que la percepción y participación de la comunidad es fundamental para la continuidad de los proyectos, adicionalmente se informan e integran en los procesos que se estén llevando en el territorio	- Realizar restauración de las dunas costeras a través de la siembra de vegetación de playas propia de la zona y la eliminación de especies invasoras. La presencia de plantas en las dunas reduce el transporte sedimentario puesto que introduce rigurosidad a la superficie, disminuyendo el flujo del viento sobre la misma y actuando como superficie blanda que absorbe gran cantidad de energía favoreciendo la sedimentación (Vega et al., 2022). La colonización vegetal funciona como un ancla en la que utilizan sus raíces para mantener las dunas en su lugar (Rangel-Buitrago et al., 2023).

Tensor	Necesidades o requerimientos mínimos	Recomendación
	- Identificar las causas de perturbación del ecosistema y hacer la caracterización actual de sitio previo a la restauración (topografía, hidrología, vegetación y parámetros físicoquímicos del agua y del suelo) para establecer objetivos y metas y definir si se realiza restauración activa o pasiva (Teutii-Hernández et al., 2020).	- Realizar reforestación (pasiva o activa dependiendo de las condiciones) de cobertura de manglar en zonas estratégicas de la costa, donde históricamente se ha establecido el mangle. Al igual que los pastos marinos, los manglares ofrecen múltiples servicios ecosistémicos como brindar protección costera al reducir la altura y energía de las olas, favorecer la calidad del agua, evitar la llegada de residuos sólidos al mar, evitar la erosión, inundaciones y sedimentación (Suárez y Podvin, 2023) - Desarrollar talleres y capacitaciones de siembra de manglar y limpiezas de playa
Sedimentación	- Mejorar la línea base con información primaria: evaluación del estado ecológico del ecosistema fluvial (caños tributantes de la Ensenada), caracterización de la vegetación ribereña, evaluaciones geomorfológicas y variables hidromorfológicas (Magdaleno, 2005) - Levantamiento de información microbiológica nativa del sistema fluvial	- Implementar medidas de restauración de las riberas de los arroyos tributantes de la Ensenada a partir de la vegetación nativa (trampas naturales de sedimento). Las plantas retardan el paso del agua y atrapan sedimentos provenientes de las laderas de las colinas, actuando como una trampa de sedimentos (Keesstra et al., 2017). La auto organización natural de la vegetación crea un ecosistema más resiliente en términos de amortiguar el flujo hidrológico (Vela y Bustos, 2022). - Implementar talleres y capacitaciones de educación ambiental como estrategia para la protección de los arroyos que alimentan la Ensenada, haciendo especial énfasis en la necesidad de preservar la cobertura vegetal de la zona ribereña, conocimiento de especies locales e identificación de especies invasoras. - Jornadas de siembra con la comunidad local y control de especies invasoras - Creación de trampa de sedimentos al final de los arroyos a través de humedales en las desembocaduras, implementando plantas nativas y enraizantes propias de humedales. Estos, contribuyen a la prevención y retardo de inundaciones, la captura de sedimentos y el filtrado de contaminantes del agua descargada, teniendo que el sedimento queda atrapado por la vegetación (Cobo y Piñeros, 2020; Vela y Bustos, 2022; Arce, 2018).

Tensor	Necesidades o requerimientos mínimos	Recomendación
	- Se recomienda realizar estudio hidro sedimentológico detallado de la Ensenada para entender la dinámica de las corrientes y de los sedimentos que llegan a la Ensenada, de esta forma poder abordar la temática de erosión y acumulación de sedimento y definir medidas de manejo viables en el tiempo	- Conocimiento detallado de la morfodinámica de la Ensenada de Puerto Velero
Contaminación por aguas residuales y escorrentías	- Hacer seguimiento a los programas de manejo de aguas residuales implementados en la zona para fortalecer la capacidad instalada de pozas sépticas y nuevos sistemas - identificar e implementar sistemas de tratamiento aguas residuales para las condiciones de Puerto Velero (sistemas de bajo costo) - Identificar alternativas de humedales naturales o artificiales que se puedan implementar en la zona - Realizar evaluaciones geomorfológicas, variables hidrológicas (aspectos fisicoquímicos de las lagunas y del agua a tratar al igual que la cantidad), evaluación del estado ecológico de las lagunas costeras, caracterización de la vegetación (macrófitas acuáticas) (García, 2005) - Continuar con el levantamiento de información microbiológica y de contaminantes presentes (REDCAM)	- Capacitaciones, programas de implementación y seguimiento al manejo de las pozas sépticas de las viviendas - implementar sistemas de tratamiento aguas residuales para las condiciones de Puerto Velero (sistemas de bajo costo) - Implementar un sistema de tratamiento secundario de aguas residuales y aguas lluvia a partir de la creación o transformación de humedales aprovechando las lagunas costeras que se han formado en la ensenada de Puerto Velero
Residuos sólidos generados en playa / residuos sólidos por deriva y escorrentía	- Capacitar a la comunidad para el manejo de residuos sólidos y separación en la fuente - Generar acuerdos con empresas prestadoras del servicio de aseo para la recolección de los residuos, o empresas/fundaciones que tengan como objeto social la transformación de residuos sólidos como plástico o aluminio - Realizar capacitación e implementación de sistemas de manejo de residuos orgánicos como compostaje o lombricultura (Rondón et al., 2016) - Capacitar en el uso de materiales biodegradables para evitar el uso de plásticos de un solo uso y evitar el uso de icopor - Involucrar a la comunidad en el cuidado de su entorno y realizar campañas de limpieza de playas y limpieza marina - Continuar con el levantamiento de información	- Para la playa de Puerto Velero hacer mantenimiento a los contenedores de recolección de botellas y residuos plásticos puestos por la CRA. - Implementación de sistemas de manejo de residuos orgánicos como compostaje o lombricultura con prestadores de servicio de restaurantes y comunidad local. - Para Caño Dulce poner mayor número de contenedores de residuos sólidos y tener ruta de recolección de basuras con mayor frecuencia, garantizando cobertura a la zona donde se ubican los pescadores - Educación ambiental para evitar el uso de plásticos - Mediante capacitación buscar la gestión integral de los residuos donde se busque transformar la cultura actual de eliminación de desechos, por una que evite la generación de residuos

Tensor	Necesidades o requerimientos mínimos	Recomendación
	de basura marina presente (REDCAM)	implementando prácticas sostenibles (reducir, reutilizar y reciclar): enfoque de circularidad (Rondón et al., 2016). - Desarrollar jornadas de limpieza subacuática y terrestre - Hacer uso y disposición adecuada de los residuos de construcción (reciclaje en la misma obra) - Consolidar grupo de vigías ambientales en los colegios y comunidad local para que velen por el cuidado de su ambiente y generar apropiación - Realizar capacitaciones a los operadores turísticos y comunidad local acerca de los ecosistemas marino costeros presentes en la Ensenada de Puerto Velero, los servicios ecosistémicos, importancia, cuidado y uso correcto, para que exista apropiación del territorio y de esta forma puedan transmitir los conocimientos a visitantes y foráneos.
Cambios del uso del suelo	- Realizar estudios del desarrollo de la expansión urbana y sus impactos: incidir en los procesos causales del deterioro, asociados a la forma de crecimiento del territorio para crear las condiciones físico-espaciales que garanticen la calidad ambiental a largo plazo. - cumplimiento de los lineamientos en el Plan de Ordenamiento Territorial - POT o Esquemas de Ordenamiento Territorial – EOT. - Hacer seguimiento a los permisos necesarios para la realización de construcciones (aprovechamiento forestal, permisos de ocupación de causas, usos del suelo, permiso de vertimientos, entre otros) por parte de las autoridades competentes del departamento del Atlántico	- Desarrollar esquemas de cumplimiento de la expansión urbana sostenible e incluirlas en el diseño de ordenamiento territorial actual
Fondeo, tráfico y mantenimiento de embarcaciones	- Socialización de la cartográfica de "ubicación y extensión del ecosistema de pastos marinos" - Talleres de capacitación de buenas prácticas de pesca, uso y mantenimiento de embarcaciones - Compromisos de buenas prácticas de pesca y de tránsito local de embarcaciones pescadores, operadores de lanchas y puerto de la Marina - Realizar estudios de batimetría	- Implementar la señalización de las zonas en donde estén presentes los ecosistemas de pastos marinos para evitar el tránsito de embarcaciones motorizadas por esos sitios. - Realizar capacitaciones sobre las buenas prácticas de pesca; uso y mantenimiento de embarcaciones a la comunidad local y sector de la Marina, así mismo socializar y compartir la cartografía de "ubicación y extensión del ecosistema de pastos marinos"

Tensor	Necesidades o requerimientos mínimos	Recomendación
		- Trabajar los siguientes compromisos con personal de la marina y operadores de lanchas: - Para la movilización o tránsito de las embarcaciones pesqueras o de recreación sobre los pastos marinos, se debe buscar la zona más profunda o canales para navegar, disminuyendo la velocidad al salir o regresar al sitio de desembarco. - Usar remo o palanca para impulsar la embarcación desde la orilla hasta la zona más profunda y viceversa - Anclar sobre zonas claras de arena y no sobre praderas de pastos marinos. - Al sacar el ancla, ésta no se debe arrastrar hacia la embarcación, sino, que se debe llevar la embarcación hacia el sitio donde se encuentra el ancla y levantarlo de forma vertical. - Evitar el vertimiento o descarga directamente en el mar o cuerpos de agua, residuos sólidos o sustancias químicas como aceites, grasas, combustibles. -El mantenimiento del motor y de la embarcación, así como los cambios de aceite se deben hacer en tierra. - Si el cambio de combustible es a bordo, utilizar una manguera para reducir el riesgo de derrames en el mar.

5.3.5 Espacio de sensibilización ambiental y alfabetización oceánica con énfasis en los pastos marinos de Puerto Velero, departamento del Atlántico

Se utilizó la alfabetización oceánica para sensibilizar a las comunidades sobre la presencia del ecosistema de pastos marinos en la ensenada. Se inició explicando los siete (7) principios fundamentales de alfabetización oceánica haciendo énfasis en el principio cinco (5) que indica que *“El océano sustenta gran diversidad de vida y ecosistemas”*, lo que sirvió para conectarse con el ecosistema de pastos marinos que fue el objetivo del taller. Con material didáctico, se explicó la taxonomía de los pastos marinos, su importancia y los servicios ecosistémicos que brindan, se mencionaron las especies que se han encontrado en Puerto Velero, al igual que los factores de degradación y los impactos identificados que afectan este ecosistema. Finalmente, se mencionaron algunas pautas para la restauración y cuidado de los ecosistemas de pastos marinos en general (Figura 5-44).



Figura 5-44. Material utilizado en los espacios de alfabetización oceánica con énfasis en el ecosistema de pastos marinos, realizado el 15 y 16 de noviembre de 2023 en las instituciones Centro Educativo Juaruco y la Institución Educativa Playa Mendoza.

Las actividades de alfabetización oceánica aportan a la prevención y protección de los ecosistemas marinos costeros del Atlántico y al cumplimiento de los objetivos planteados en el Decenio de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible, y específicamente al compromiso de desarrollar conocimiento para explicar cómo el “océano influye en el ser humano y cómo las acciones humanas influyen en el océano”.

Los espacios de alfabetización se realizaron en dos instituciones académicas en el municipio de Tubará. El primero tuvo lugar el 15 de noviembre en el Centro Educativo Juaruco, donde participaron 42 estudiantes del grado noveno y décimo. El segundo espacio se realizó el día 16 de noviembre en la Institución Educativa Playa Mendoza donde participaron 40 estudiantes de bachillerato. En estos espacios se buscó que los estudiantes tuvieran esa conexión con el océano desde una edad temprana, promoviendo así una generación informada y comprometida con la preservación de los recursos marinos (Anexo 10).

Durante las actividades de alfabetización oceánica se desarrollaron tres momentos: 1) Principios fundamentales y conceptos de la alfabetización oceánica; 2) ecosistema de pastos marinos y 3) Factores de degradación ambiental. Así, se abordaron temáticas orientadas al conocimiento del océano y los ecosistemas de pastos marinos, buscando fomentar la cultura oceánica y generar promotores de acciones que ayuden a la conservación y salud del planeta.

Los 7 principios oceánicos se abordaron utilizando preguntas sencillas en forma de quices, se utilizaron videos y actividades interactivas con las cuales los estudiantes pudieron debatir entre ellos las respuestas. También se hizo un ejercicio práctico con un filtro de agua casero para dar a conocer la función de nuestros suelos y la importancia de la capa vegetal en el planeta, abordando el principio 2 "El océano y la vida que este alberga modelan las características de la tierra" (Figura 5-45).



Figura 5-45. Participación de los estudiantes durante las jornadas de Alfabetización Oceánica. Estudiantes Centro Educativo Juaruco (A y B), estudiantes de Institución Educativa Playa Mendoza (C y D). Fotos: Derly Rojas

El cierre de las jornadas consistió hacer un compromiso personal donde cada uno de los estudiantes plasmaba en fichas bibliográficas una o varias acciones con las cuales se comprometía a cuidar el océano y sus ecosistemas, con ello cada uno paso a socializar y a pegarlo en una figura alusiva a las especies que encontramos en el mar (Figura 5-46).



Figura 5-46. Actividad de cierre de jornada de Alfabetización Oceánica y compromisos con el cuidado de los ecosistemas marinos y costeros Estudiantes del Centro Educativo Juaruco (A y B). Institución Educativa Playa Mendoza (C y D). Fotos: Derly Rojas

5.4 CONCLUSIONES

- Se confirmó la presencia de las especies de pastos marinos *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme*, *Halodule wrightii*, *Halophila decipiens* y *Halophila baillonis*, en parches dispersos en los sectores norte y noroccidental de la bahía.
- Los parches diferenciados de *T. testudinum* y *S. filiforme* se evidenciaron en condiciones favorables estructuralmente hablando, sin embargo, se resalta la posibilidad de verse afectados por pisoteo o por embarcaciones, en especial en la zona norte de la bahía donde estas actividades tienen lugar.
- Se identificaron 34,9 ha de pastos marinos a lo largo de la bahía de Puerto Velero, divididos en las unidades de paisaje de pastos marinos dispersos (25,3 ha), sedimentos Bioturbados-*Halophila* spp. (9,1 ha), *Syringodium filiforme* (0,05 ha) y *T. testudinum* (0,45 ha).

6 SEGUIMIENTO A LOS CAMBIOS DE LA LÍNEA DE COSTA Y DINÁMICA GEOMORFOLÓGICA EN LA CIÉNAGA DE MALLORQUÍN

Preparado por: Paula Alejandra Macías Hemer, Jorge Andrés Díaz Rentería, Ana María Osorio Granada, David F. Morales Giraldo, Constanza Ricaurte Villota

6.1 METODOLOGÍA

6.1.1 Estado del arte

La Ciénaga de Mallorca ha sido objeto de estudio desde diversas perspectivas ambientales, tales como análisis de cobertura de manglar ([Bayona, 2016](#)), modelos hidrodinámicos ([Torres, 2015](#); [Colina et al., 2017](#); [Rivillas-Ospina et al., 2017](#)), metales pesados ([Fuentes et al., 2018](#)), contaminación ([Duran et al., 2018](#)), servicios ecosistémicos ([Páez, 2015](#); [Padilla, 2019](#)) y erosión costera ([Rivillas-Ospina et al., 2017](#); [Ferrucho-Maloof et al., 2022](#)). Sin embargo, los estudios se han desarrollado de manera independiente, por ende, en el presente informe se generó un estado del arte que permita establecer el nivel de conocimiento, metodologías aplicadas y resultados para construir nuevos ejes de análisis y reconstrucciones teóricas que permitan abordar la problemática de la erosión costera desde un contexto reciente, en el cual se logren aplicar nuevas técnicas de estudio en investigaciones futuras.

Las actividades desarrolladas dentro de la generación del estado del arte se orientaron en recopilar, analizar y sintetizar información de las investigaciones sobre la erosión costera en la Ciénaga de Mallorca. Lo anterior, proporcionó una comprensión de la historia, progreso y estado actual de la investigación para reconocer vacíos en el conocimiento, evitar duplicidad de esfuerzos e identificar colaboraciones y/o alianzas para generar investigaciones innovadoras y relevantes en la zona de estudio.

6.1.2 Análisis multitemporal de la dinámica litoral

Los sensores remotos han demostrado ser herramientas efectivas para realizar análisis espacio-temporales relacionadas con los recursos naturales y el ordenamiento territorial, debido a la posibilidad de analizar fuentes de datos históricas y actuales, tales como mapas, fotografías aéreas e imágenes satelitales. Luego, la información es procesada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para generar estadísticas que facilitan el reconocimiento y establezcan la evolución de las variables evaluadas. En las zonas costeras, los sensores remotos se han utilizado para el estudio de procesos erosivos, el monitoreo de calidad del agua, transporte de sedimentos, entre otras.

Para conocer el comportamiento de la línea de costa, así como sus tasas de erosión y acreción, se llevó a cabo un análisis comparativo a lo largo del periodo de 2000 a 2022. Este análisis temporal permitió identificar patrones y tendencias significativas en la evolución costera. Posteriormente, se ejecutó un análisis espacial con el propósito de discernir las zonas de mayor dinámica dentro del área de estudio. Este enfoque combinado temporal y espacial proporciona una perspectiva detallada de la variabilidad costera, fundamental para la caracterización precisa de la dinámica litoral en la Ciénaga de Mallorquín. (Figura 6-1).

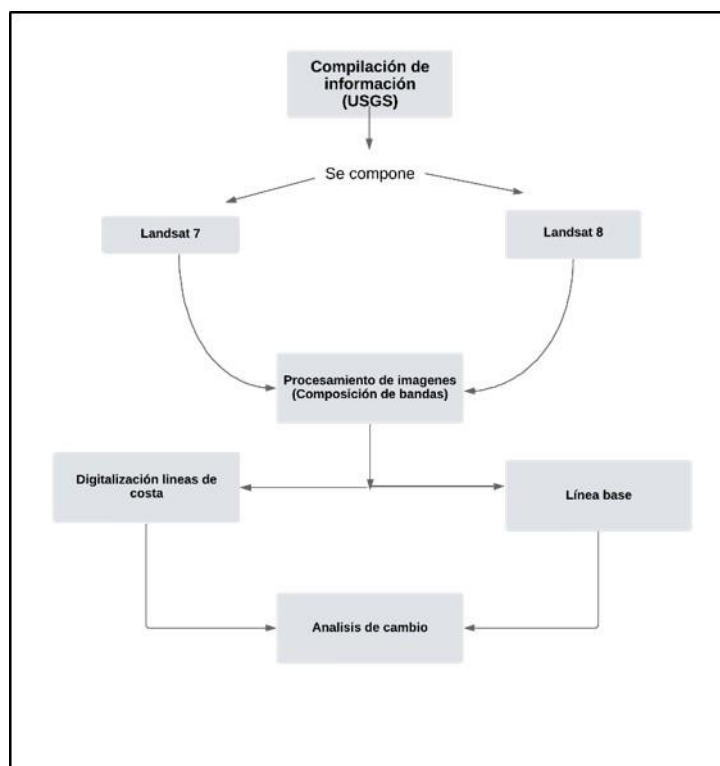


Figura 6-1. Diseño metodológico para el análisis de cambio de línea de costa.

Para obtener información detallada sobre la variabilidad de la zona costera, se descargaron catorce imágenes de sensores remotos, incluyendo Landsat 7 ETM+C1 Level-1 y Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1, a través de la plataforma USGS *Science For a Changing World – Earth Explore* (Servicio Geológico de Estados Unidos). Estas imágenes abarcan un periodo de 22 años, desde el 2000 hasta el 2022.

Es relevante señalar que para los años 2000, 2004, 2009, 2010, 2011, se utilizó una imagen Landsat 7 *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM +), que consta de ocho bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las Bandas 1 a 7 y una resolución de 15 metros para la Banda 8 (pancromática). En cuanto a los años entre 2013 y 2022, se emplearon imágenes Landsat 8 *Operational Land Imager* (OLI) y *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), que constan de nueve

bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas 1 a 7 y 9, y resoluciones de 100 metros para las bandas térmicas 10 y 11 (Tabla 6-1).

Tabla 6-1. Especificaciones imágenes Landsat utilizadas en el análisis de cambios geomorfológicos en la ciénaga de Mallorquín.

Sensor	Fecha	Resolución (m)
LANDSAT 8 OLI/TIRS C1 Level-1	1/8/2022	Banda 1-Ultra Azul - 30
		Banda 2- Azul -30
		Banda 3 Verde - 30
		Banda 4- Rojo 30 m
		Banda 5 - NIR 30 m
		Banda 6 – Shortwave Infrared
	23/07/2013	(SWIR) 1 – 30
		Banda 7 – Shortwave Infrared
		(SWIR) 2 – 30
		Banda 8 – Pancromática -15
		Banda 9 – Cirrus -30
LANDSAT 7 ETM+C1 Level-1	25/08/2000	Banda 10- STIR 1 – 100* 30
		Banda 11- STIR 2 - 100* 30
		Banda 1-Ultra Azul - 30
		Banda 2- Verde -30
		Banda 3 Rojo - 30
		Banda 4- NIR 30 m

Selección de Datos

Para analizar la variabilidad de la línea de costa, se generó una línea base que sirvió como punto de referencia para mediciones y comparaciones. En el análisis de la modificación costera, se incorporó datos de las líneas de costa correspondientes a los años 2000, 2004, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 ,2019, 2020, 2021 y 2022. Esto permitió precisar la variabilidad con respecto a la línea de base.

Las imágenes utilizadas para extraer las líneas de costa provienen de escenas de satélites Landsat 7 y 8 nivel 1 (Figura 6-2). La USGS especifica que estas escenas ofrecen la mayor calidad de datos y son idóneas para el análisis de series temporales. Estas imágenes nivel 1 incluyen datos corregidos de precisión y terreno (L1TP), con radiometría caracterizada e intercalibración en diferentes instrumentos Landsat. El geo registro de las escenas de Nivel 1 es consistente y se mantiene dentro de las tolerancias prescritas de imagen a imagen, con un $\pm$ error cuadrático medio de la raíz radial de 12 metros.

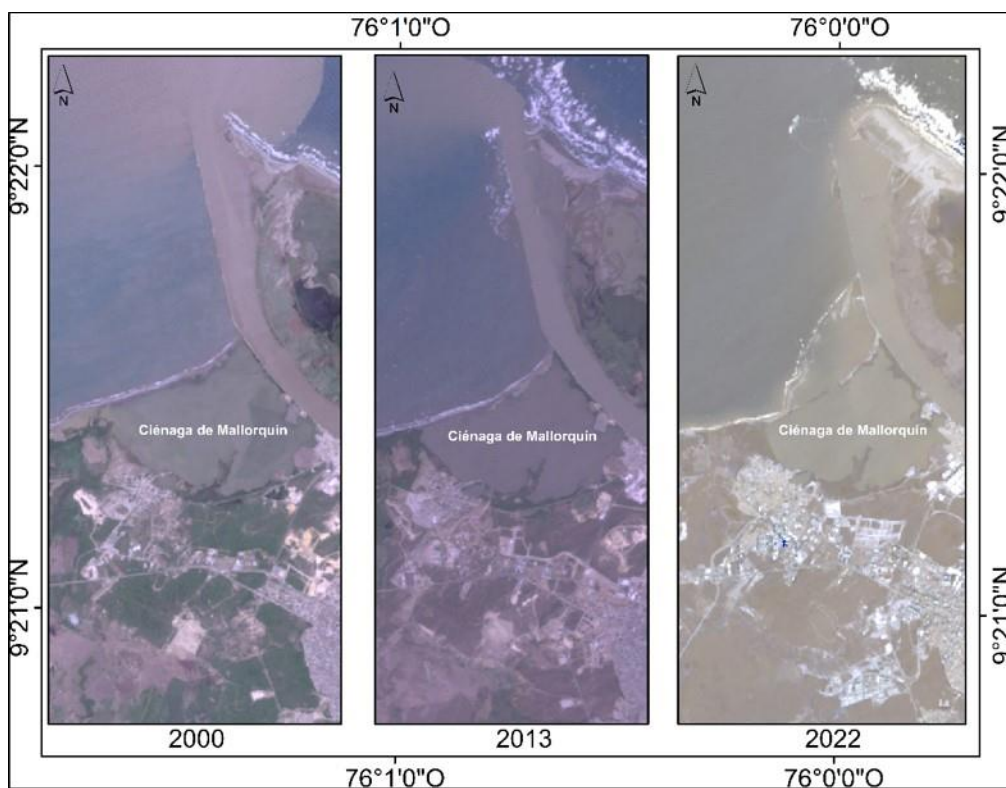


Figura 6-2. Set de imágenes satelitales de Landsat 7 y 8 color para los años 2000, 2013, 2022. Elaboración propia.

El procesamiento, en términos de corrección de precisión del terreno (L1TP), implica calibración radiométrica y ortorrectificación utilizando puntos de control terrestre (GCP) y datos del modelo de elevación digital (DEM) para corregir el desplazamiento del relieve. Los GCP utilizados se derivan del conjunto de datos Global Land Survey 2000 (GLS2000).

Definición de la línea de costa

Antes de la digitalización, se realizó el procesamiento de las imágenes multiespectrales mediante la composición de bandas. En este proceso, se tomaron todas las bandas en un orden específico y se combinaron utilizando el método RGB de composición de colores en términos de intensidad (Figura 6-3). Para mejorar la diferenciación entre el agua y la tierra, se utilizó la aplicación del Índice de Agua "Modified Normalized Difference Water Index" (MNDWI)

$$MNDWI = (Green - NIR) \div (Green + NIR)$$

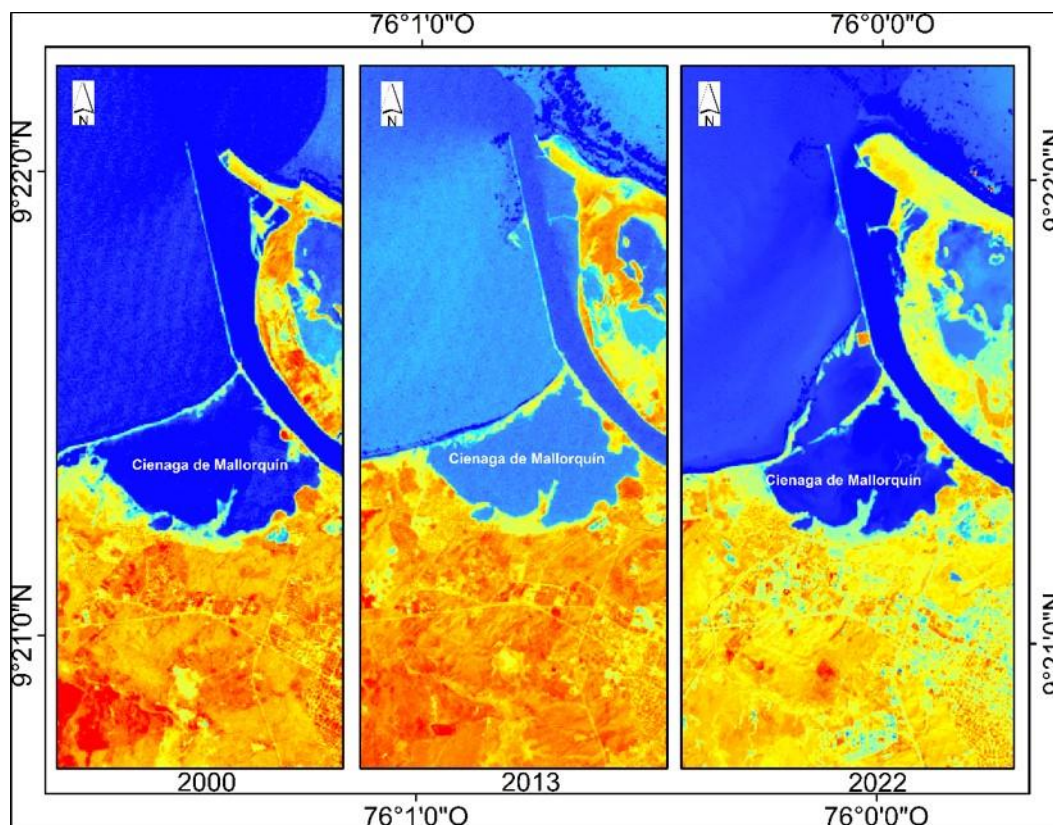


Figura 6-3. Combinación de bandas agua/tierra (NIR- banda roja) – Imágenes Landsat de los años 2000, 2013 y 2022 en el área de la ciénaga de Mallorquín.

A partir del proceso de digitalización, se logró obtener un *shapefile* que representa la línea de costa a lo largo de los años analizados en la franja litoral de la ciénaga de Mallorquín. Este archivo revela de manera clara y precisa la tendencia dominante en el cambio de la línea de costa, manifestándose tanto en procesos de erosión litoral como en fenómenos de acreción.

La erosión litoral, evidenciada por retrocesos en la línea de costa, revela la influencia continua de fuerzas naturales que desafían la estabilidad de la región. Por otro lado, la acreción, representada por extensiones y avances en la línea de costa, sugiere fenómenos de acumulación de sedimentos y procesos de construcción costera.

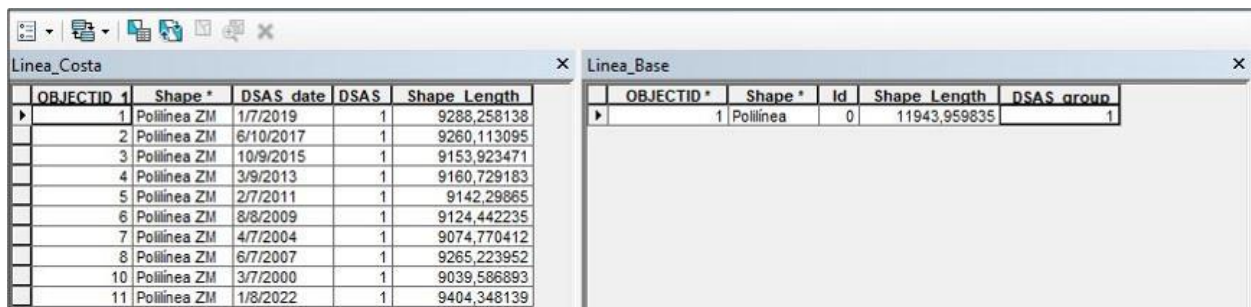
Una vez obtenidas las líneas, se procedió a importarlas al software ArcGIS V.10.6 para incorporar los parámetros empleados y, posteriormente, aplicar la extensión DSAS (*Digital Analysis Shoreline System*) y calcular el parámetro estadístico relacionado a continuación ([Himmelstoss, 2021](#); [Thieler et al., 2009](#)):

- *Lineal Regression Rate* (LRR): Tasa de regresión lineal, se determina por ajuste de mínimos cuadrados a todos los puntos de la costa de un transepto en particular.

Con la extensión DSAS se obtuvieron los parámetros asociados al cambio en la línea de costa mediante transectos ortogonales, a partir de los cuales se generaron las estadísticas, teniendo en cuenta los cambios espaciales y temporales de cada una de las líneas de costa. A través del análisis multi-temporal se realizó el análisis de los cambios geomorfológicos de la Ciénaga de Mallorquín, con énfasis en la espiga litoral y cordón costero que la limita.

Una vez establecidas las líneas de costa, se consolidaron mediante herramientas de ArcMap. Es importante señalar que, para llevar a cabo el cálculo estadístico de la tasa de cambio, se necesitaron dos elementos fundamentales. El primero es la línea de base, diseñada para servir como punto de origen para todos los transectos y, el segundo, las líneas de costa correspondientes a los años determinados.

En este punto, se avanza con la configuración de los atributos. La línea base contiene información relevante, como longitud, ID, distancia y grupos, mientras que los datos de la línea de costa incluyen atributos como año o fecha, tipo de línea e incertidumbre (Figura 6-4). Para el campo denominado "año", se introduce manualmente en la columna previamente creada, mientras que los demás atributos se generaron automáticamente.



OBJECTID	Shape *	DSAS_date	DSAS	Shape_Length
1	Polilínea ZM	1/7/2019	1	9288,258138
2	Polilínea ZM	6/10/2017	1	9260,113095
3	Polilínea ZM	10/9/2015	1	9153,923471
4	Polilínea ZM	3/9/2013	1	9160,729183
5	Polilínea ZM	2/7/2011	1	9142,29865
6	Polilínea ZM	8/8/2009	1	9124,442235
7	Polilínea ZM	4/7/2004	1	9074,770412
8	Polilínea ZM	6/7/2007	1	9265,223952
10	Polilínea ZM	3/7/2000	1	9039,586893
11	Polilínea ZM	1/8/2022	1	9404,348139

OBJECTID *	Shape *	Id	Shape_Length	DSAS_group
1	Polilínea	0	11943,959835	1

Figura 6-4. Campos y atributos para las entidades de línea de costa y línea base.

La construcción de la línea de base se lleva a cabo utilizando la herramienta de buffer de ArcMap, creando un área a ambos lados de las líneas de costa. Se selecciona la línea del buffer con respecto a la línea de costa más cercana al continente.

Para el cálculo de la tasa de cambio, se emplea la extensión de ArcMap conocida como *Digital Shoreline Analysis System* - DSAS (Versión 5.0), desarrollada por el USGS en 2010. Esta herramienta se diseñó con el propósito de calcular la tasa de erosión costera a lo largo de un periodo de tiempo. DSAS utiliza el método de referencia para calcular de manera estadística la tasa de cambio, y la línea base se determina para ser el punto de partida de todos los transectos emitidos por la aplicación DSAS.

Con los insumos necesarios, se incorpora la línea base y las líneas de costa resultantes del proceso anterior al DSAS. Esto da lugar a la generación de transectos, que se superponen e interceptan con las líneas de costa, creando puntos de medición. Estos puntos se utilizan para

calcular las tasas de cambio de la línea costera. La Figura 6-5 ilustra los puntos de medición identificados en el proceso de cálculo de la línea de costa en la ciénaga de Mallorquín.

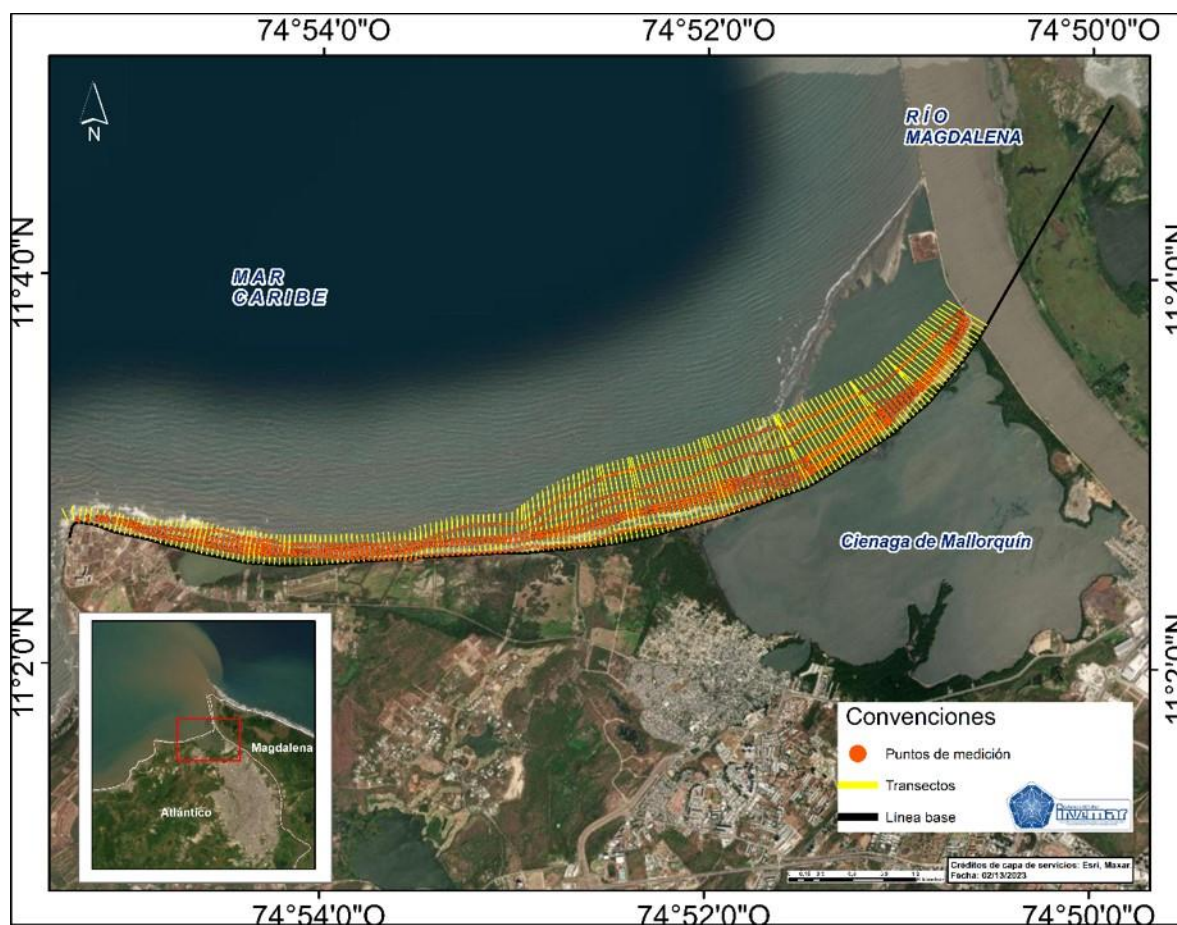


Figura 6-5. Creación de los puntos de medición con respecto a las líneas de costa y línea de base, ciénaga de Mallorquín.

Con la configuración realizada, se generaron un total de 190 transectos, distribuidos a lo largo de los 11 km de la zona litoral de la ciénaga de Mallorquín, con un intervalo de 20 metros.

Luego, con la extensión DSAS, una vez creados los transectos y seleccionados los parámetros y atributos necesarios, se procede al cálculo estadístico de las tasas de cambio basadas en las diferentes posiciones de la línea de costa durante los periodos de tiempo establecidos. Para este análisis estadístico, se eligió como medida la tasa de regresión de línea (LRR), la cual determina la tasa de cambio ajustando una regresión de mínimos cuadrados a toda la zona litoral en el transecto específico.

Este enfoque proporciona una evaluación detallada de la dinámica costera a lo largo de la ciénaga de Mallorquín, permitiendo una comprensión más profunda de las tendencias y cambios

en la línea de costa durante los periodos considerados. La elección de la tasa de regresión de línea como medida estadística ofrece una herramienta robusta para capturar y cuantificar la variabilidad en la erosión y la acreción a lo largo de la zona litoral.

6.2 RESULTADOS

6.2.1 Estado del arte del conocimiento geológico en relación con la erosión costera

6.2.1.1 Geología

La Ciénaga de Mallorquín se encuentra ubicada en la parte noroccidental de Colombia, en una zona de convergencia tectónica influenciada por la migración NE de la Placa Caribe en relación con el margen NW de la placa Suramericana (e.g. [Barrero et al., 2007](#); [Pindell y Kennan, 2009](#); [Pardo-Trujillo et al., 2020](#)). Esta se caracteriza por suaves y amplios plegamientos en rocas del Neógeno, producto de las deformaciones por la provincia tectónica de los Cinturones Plegados de Sinú y San Jacinto en la cual se enmarca el litoral entre Barranquilla y Galerazamba ([Molina, M. et al., 1999](#))

Hacia el sur – occidente, se encuentra constituida por formaciones del cuaternario inferior como la formación la Popa (Qpp) ([Anderson, 1926](#)), conformada por colinas poco abruptas y acantilados de aproximadamente 30 m de altura, con areniscas de grano fino y capas discontinuas de calizas arrecifales masivas bioturbadas, calizas terrígenas y arcillolitas de color gris claro ([Molina, M. et al., 1999](#)). Por otra parte, alrededor de la planicie aluvial se encuentran los depósitos de llanura de inundación (Qli) o fluviolacustres (Qfl), los cuales se limitan tanto a las márgenes del río Magdalena, como a las ciénagas contiguas y se encuentran conformados por arenas de grano fino y fragmentos líticos. Particularmente, para el área de estudio de la Ciénaga de Mallorquín, los sedimentos tienden a ser más arcillosos con arcillas limosas y alto contenido en materia orgánica ([Molina, M. et al., 1999](#); [INGEOMINAS, 2001](#)).

Así mismo, según la caracterización del componente geológico del área de influencia de la Ciénaga de Mallorquín expuesto en el documento síntesis “Proceso de ruta declaratoria de la Ciénaga de Mallorquín como área protegida” (2023), elaborado con base en la información secundaria disponible extraída de la base de datos cartográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi ([IGAC, 2007](#)); se presentan tres unidades litológicas que incluyen calizas arrecifales y areniscas calcáreas al sur de la ciénaga, los depósitos de playa alrededor de la misma y que se extienden al occidente hasta la Ciénaga Manatíes; y finalmente los depósitos aluviales finos sobre la planicie del Arroyo León.

6.2.1.2 Geomorfología costera

En [1990](#), [INGEOMINAS](#) (Actualmente Servicio Geológico Colombiano –SGC) publicó la memoria de los mapas “Atlas de la línea de costa del Caribe Central Colombiano (Sector Cartagena – Bocas

de Ceniza)" en el cual, a través de la digitalización de las observaciones en campo de los años 1985 – 1987 con las bases topográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, a escala 1:25.000 y 1:100.000, se cartografiaron las unidades geológicas y geomorfológicas en relación a la línea de costa. En esta, se caracterizaron como zonas bajas el área desde Punta Sabanilla hasta Bocas de Ceniza, conformada por sedimentos no consolidados como arenas no consolidadas, playones con campos de dunas y zonas bajas de inundación con superficies de lodo (INGEOMINAS, 1990) (Figura 6-6) localizadas en el área de influencia costera con alta susceptibilidad a la erosión, parcialmente atribuida al cambio en la dinámica costera luego de la construcción del tajamar occidental en Bocas de Ceniza.

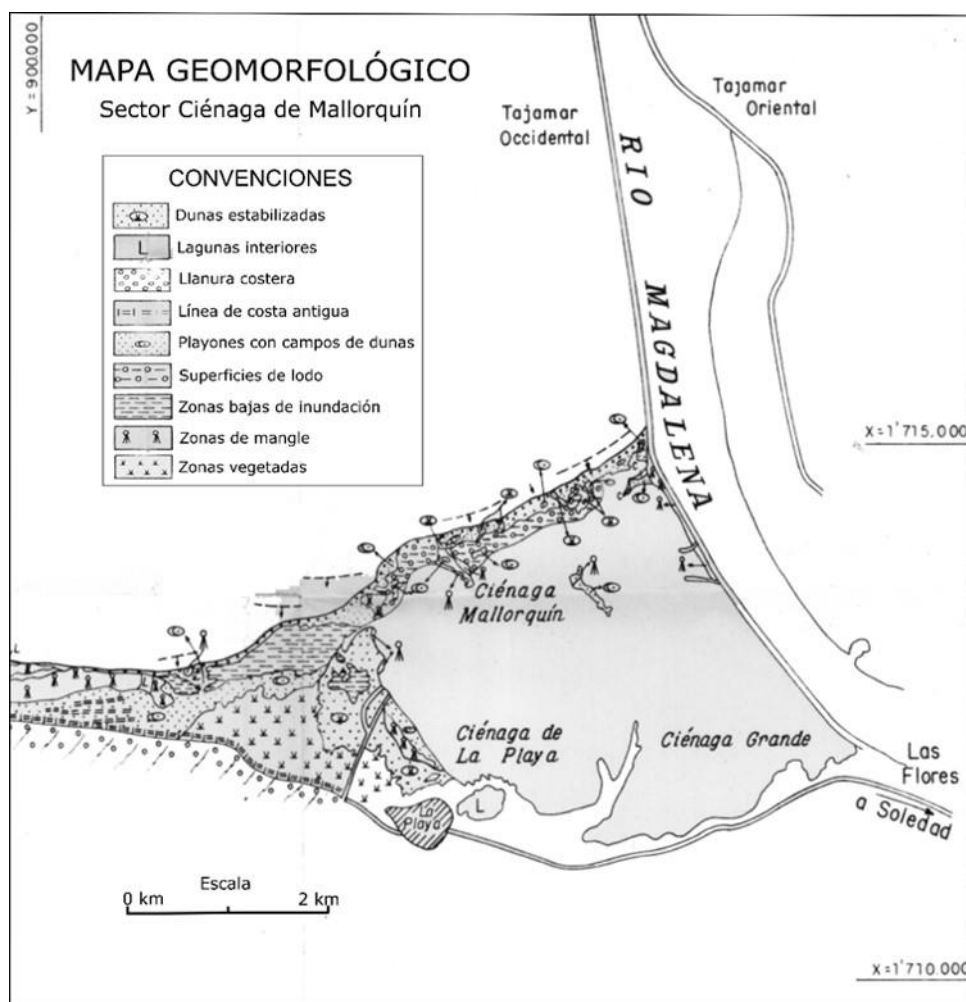


Figura 6-6. Mapa geomorfológico del área Ciénaga de Mallorquín, año 1990. (Modificado de Ingeominas, 1990).

Luego, Molina, A. *et al.* (1999) en el estudio de las "Características estratigráficas y morfo dinámicas de la franja litoral del Caribe Colombiano [Sector Barranquilla (Bocas de Ceniza) – Flecha de Galerazamba]" se describe la ciénaga de Mallorquín como un relieve costero

conformado por geoformas asociadas a costas bajas, las cuales, dado a su naturaleza, se encuentran mayormente influenciadas por la dinámica costera de la zona. Entre estas, se destacan las flechas o espigas litorales, llanuras costeras, barras, playas, ciénagas y zonas de inundación. Asimismo, se resalta la barra que se desprende del tajamar occidental en dirección sur-oeste que limita la ciénaga de Mallorquín y que además representa el canal de conexión con el mar, lo cual la hace susceptible a la dinámica litoral del mismo.

En el 2000, Molina, A. *et al.* hace otra aproximación a las características geomorfológicas de la franja litoral, en la zona costera del departamento del Magdalena, desde Barranquilla (Bocas de Ceniza) hasta Galerazamba, en la cual se identificaron las unidades geomorfológicas costeras a través de la digitalización de las unidades en los softwares ArcGIS ILWIS y PCI, así como fotointerpretación de los mapas a escala 1:10.000. En este estudio, se caracterizan las unidades geomorfológicas del litoral como costas bajas, asociadas a las siguientes geoformas:

- **Flechas Litorales:** cuerpos arenosos elongados en dirección norte-sur, paralelos a la costa y formados por la acción de las corrientes y el oleaje.
- **Planos Aluviales:** se localizan al sur de la ciénaga de Mallorquín y corresponden a superficies planas, constituidas por sedimentos no consolidados de tipo arenosos y limo-arcillosos que son depositados por el cauce fluvial.
- **Campos de Dunas:** Cúmulos o acumulaciones de arena no consolidada, de grano fino a muy fino que son transportadas por procesos eólicos y depositadas, en su mayoría, de forma paralela a la línea de costa.
- **Barras Litorales:** Estas se encuentran limitando de norte a sur, la Ciénaga de Mallorquín. Corresponden a cuerpos de arenas no consolidadas distribuidos de manera elongada por la acción combinada del oleaje y las corrientes.
- **Laguna Costeras:** La ciénaga de Mallorquín corresponde a una laguna costera de poca profundidad, ocupada por un cuerpo de agua y separada parcialmente del mar Caribe por la barra litoral.
- **Zona de Inundación:** Planicies susceptibles a inundación marina o fluvial, localizadas en los bordes de la Ciénaga.

Cabe resaltar que, las costas bajas fueron consideradas zonas de alta amenaza debido a los desequilibrios ecosistémicos ocasionados por las intervenciones antrópicas y los fenómenos acelerados de erosión y acreción costera.

Más tarde, INGEOMINAS presentó el documento “Estudio geomorfológico del sector comprendido entre Bocatocino, Atlántico y Ciénaga, Magdalena” (2010) el cual se enmarcó dentro de la fase II del proyecto Anden Caribe Colombiano, y tuvo como propósito ampliar el conocimiento de las características geomorfológicas y los procesos que han intervenido en esa área del territorio nacional. En este, se presentaron los resultados del estudio geomorfológico a escala 1:25.000, en el cual se identificaron las principales geoformas asociadas a los ambientes marinos y costeros de esa franja litoral. Para la ciénaga de Mallorquín, se destacaron las estructuras de origen transicional marino – fluvial, las cuales se encuentran constituidas, en su mayoría, por depósitos fluviomarinos que ocupan la franja adyacente a la desembocadura del río Magdalena. Estos depósitos conforman estructuras como barras litorales (arenas y gravas), espigas o flechas (barras arenosas en dirección a la deriva litoral), llanuras intermareales (franjas planas lodosas, localizadas en las partes protegidas de lagunas costeras), barra espiga (barras elongadas, dispuestas de forma paralela a la línea de costa) y llanuras y planos con Manglar (superficies extensas compuestas por arena y lodos con abundante materia orgánica que propicia el desarrollo de los bosques de manglar, entre otras especies).

En 2015, La Corporación Autónoma Regional del Atlántico – CRA en conjunto con el Consorcio POMCA Mallorquín, publicaron el documento “Revisión de la zonificación, mejoramiento de escala (1:25.000) y el abordaje al tema de susceptibilidad de amenazas y vulnerabilidad, como avance en el ajuste al plan de ordenamiento de la cuenca hidrográfica Ciénaga de Mallorquín y los arroyos Grande y León” en el cual, se enmarca la Ciénaga de Mallorquín como área protegida dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas – SINAP. El estudio abarcó la caracterización de las áreas de amenaza ambiental a partir de la compilación de información secundaria sobre las principales características físicas de la zona, qué pertenecen a la ronda hidráulica e integran el sistema ambiental de la ciénaga. Estas fueron clasificadas en 6 categorías (según la ley 388 de 1997 que define los suelos de protección de los POT), en función de su uso y restricción: lecho, playa fluvial, cauce natural, ronda hidráulica, zona de manejo y preservación ambiental de rondas y ribera.

Por otro lado, uno de los estudios recientes publicados por Barranquilla Verde “Análisis para la definición de alternativas, estudios y diseños preliminares para el manejo ambiental de la ronda de la Ciénaga de Mallorquín frente a los barrios La Playa y las Flores en el Distrito de Barranquilla, Colombia” (2021) se destaca el análisis físico ambiental determinante para la caracterización geomorfológica, la cual se realizó sobre el área de influencia de la Ciénaga e incluyó los análisis de la cartografía actualizada por EPA-Barranquilla Verde y Uniatlántico (2019) en la delimitación de la ronda hídrica a escala 1:25.000. Dentro del área de influencia directa se pueden encontrar las geoformas de la barra con dunas ubicada entre la ciénaga de Mallorquín y el mar Caribe; pantanos de manglar (o llanura de manglar) alrededor de la ciénaga y en su ronda hídrica; el inicio de colinas al costado sur de la misma y el playón sobre el tamar al límite con el río Magdalena. Al occidente de la ciénaga, junto al pantano de manglar se observa también la

planicie por donde fluye el arroyo León, denominada como llanura costera; y zonas de salitrales junto al borde de la ciénaga de Mallorcaín (Figura 6-7).

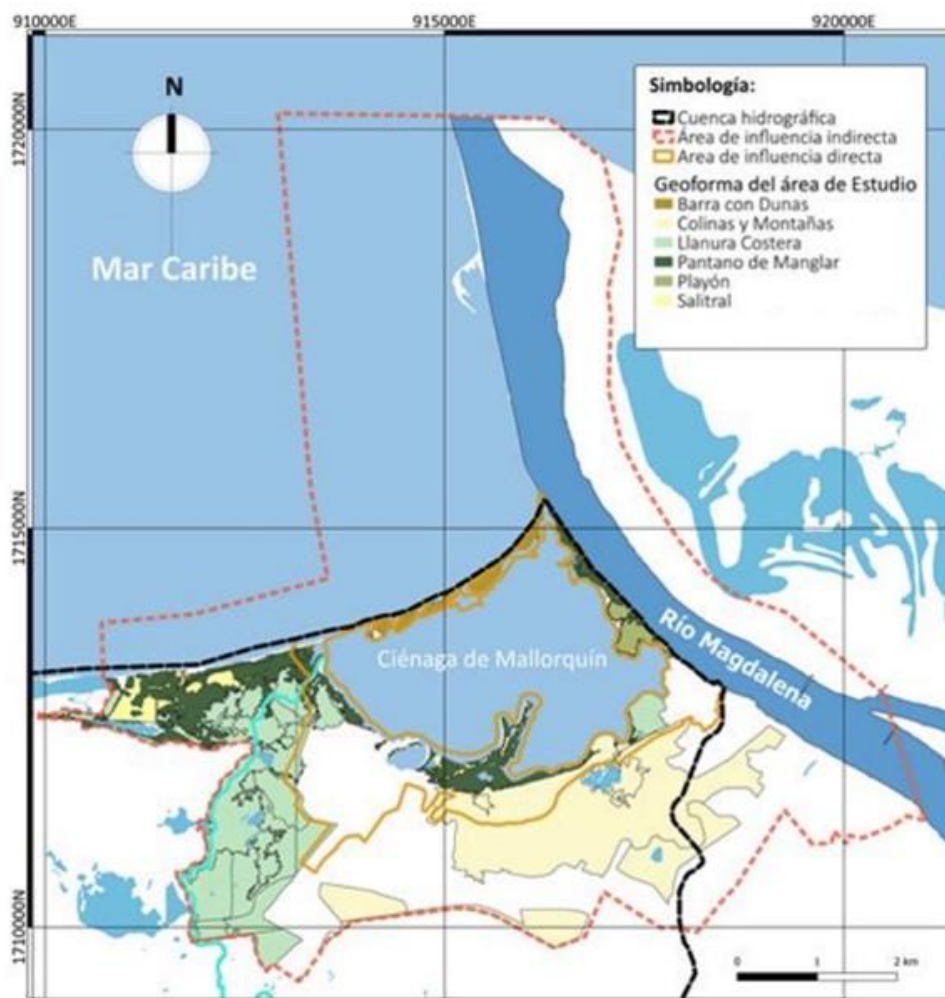


Figura 6-7. Mapa geomorfológico del área de influencia de la Ciénaga de Mallorcaín. (Tomado de EPA-Barranquilla Verde, Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) y CAF -Banco de Desarrollo de América Latina, 2022).

De igual manera, en el documento síntesis “Proceso ruta de declaratoria de la Ciénaga de Mallorcaín como área protegida” (2023), se realiza una aproximación las características físicas del área con base en información secundaria con la cual se identificaron, entre la ciénaga y el Mar Caribe, 6 tipos de geoformas como las barras con dunas, playón en límite con el río Magdalena; llanuras costeras hacia el occidente de la ciénaga, pantanos de manglar (siendo este, el más representativo) y zonas de salitrales alrededor de los bordes de la ciénaga de Mallorcaín. Así mismo, resaltan que, gran parte de las condiciones geomorfológicas del área, se encuentra asociada al crecimiento de la espiga litoral en los últimos 3 años, alterando la dinámica

sedimentológica de la isla barrera (Barranquilla Verde, CINDES, 2023; CAF, Barranquilla Verde, Puerta De Oro, & AFD, 2021).

6.2.1.3 Geomorfología de fondo

A continuación, se describen los estudios que se han adelantado para conocer la morfología del fondo de la Ciénaga Mallorquín, que incluyen los que realizó el Establecimiento Público Ambiental Barranquilla Verde y la Universidad del Atlántico en el año 2018 como parte del proceso de la ruta declaratoria de la Ciénaga de Mallorquín como área protegida y en el 2019 para el manejo ambiental de algunos sectores de la ronda de la Ciénaga. Además, se incluye la descripción de la información presentada por Corporación Ecovera en el año 2022.

El Establecimiento Público Ambiental Barranquilla Verde y la Universidad del Atlántico presentaron en el año 2018 el documento “Condiciones iniciales para la determinación de declaratoria de la Ciénaga de Mallorquín como área protegida” donde se incluyó un análisis batimétrico de la Ciénaga de Mallorquín (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Esta información reveló los cambios representativos de profundidades en la parte noroccidental de la ciénaga en cercanías a la boca, asociados a un proceso de dragado en proximidades al Arroyo León.

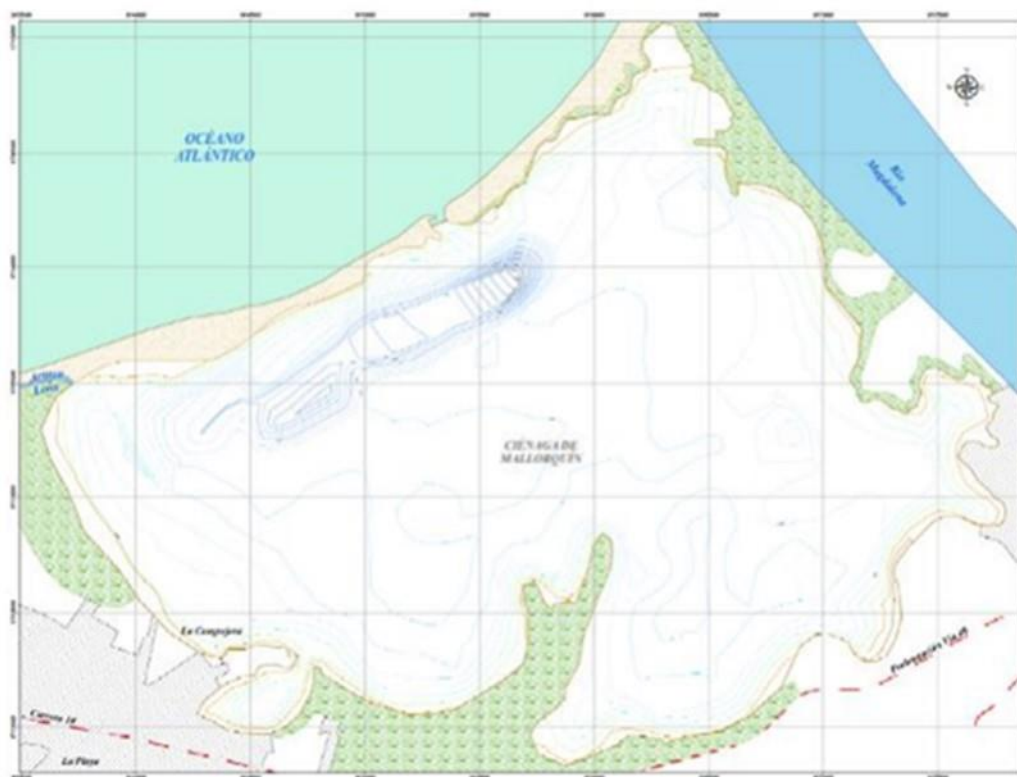


Figura 6-8. Batimetría de la Ciénaga Mallorquín. (Tomado de: EPA Barranquilla Verde y Uniatlántico, 2018).

El Establecimiento Público Ambiental Barranquilla Verde y la Universidad del Atlántico también presentaron en el 2019 como parte del Proceso para la ruta de declaratoria de la Ciénaga de Mallorquín como área protegida ([EPA-Barranquilla Verde, Uniatlántico; 2019](#)), el documento: “Análisis para la definición de alternativas, estudios y diseños preliminares para el manejo ambiental de la ronda de la Ciénaga de Mallorquín frente a los barrios La Playa y las Flores en el Distrito de Barranquilla, Colombia”. El Informe presentó estudios batimétricos de la Ciénaga que se desarrollaron como parte del ejercicio de la delimitación de la ronda hídrica en el año 2013 (Figura 6-9). El estudio se desarrolló a través de la medición de la profundidad del espejo de agua por medio de equipos de elevada precisión, la definición de líneas batimétricas y el programa HYPACK.

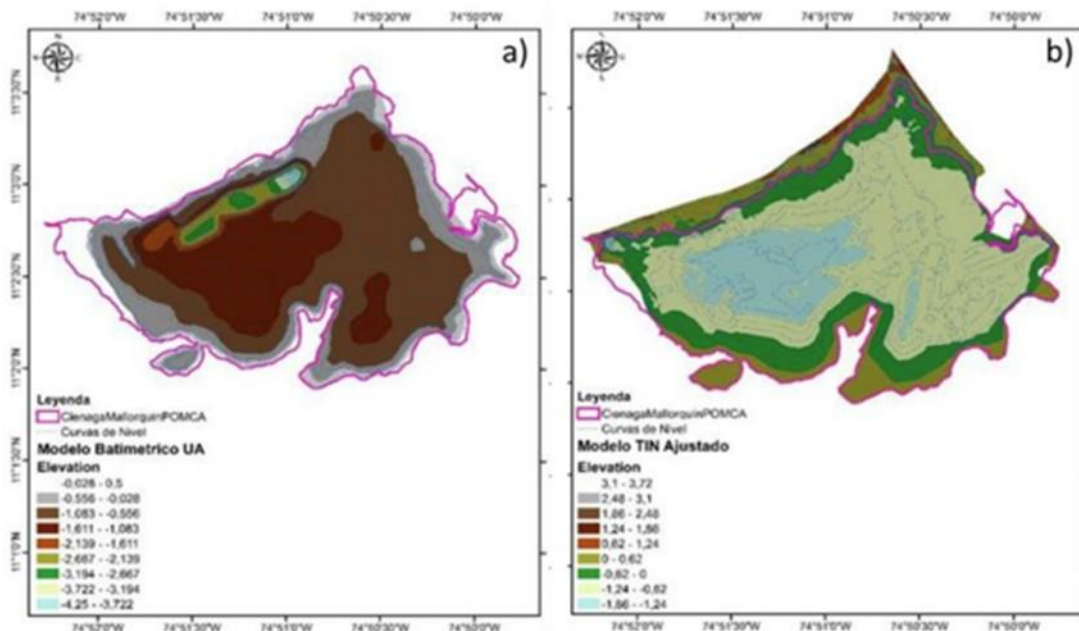


Figura 6-9. Batimetrías de la Ciénaga de Mallorquín. (Tomado de [EPA-Barranquilla Verde, Uniatlántico, 2019](#)).

Corporación Ecoversa presenta en el Plan de Recuperación Ambiental de la Ciénaga de Mallorquín [Ecoversa \(2022\)](#) un reproceso de la información batimétrica obtenida en el año 2005 por la Universidad del Norte y el Grupo de Investigaciones en Tecnología del Agua y la obtenida por ATE en 2022. El documento incluye el análisis de 12 transectos a lo largo del fondo de la Ciénaga con tendencia noreste y espaciados cada 200 m. De este ejercicio se obtuvieron dos modelos batimétricos (Figura 6-10) a partir de los cuales se determinó que la profundidad media de la Ciénaga es de -0,6 metros y alcanza un máximo de -2,20 m.

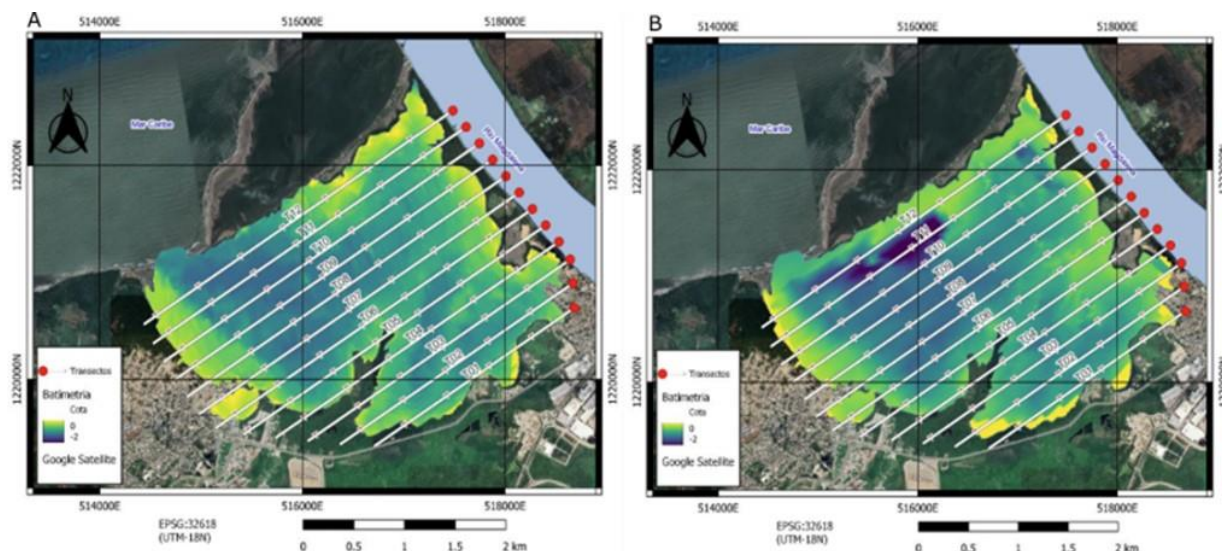


Figura 6-10. Modelos batimétricos adquiridos en el año 2005 (A) y el año 2022 (B) en el área de la Ciénaga Mallorquín. Las líneas blancas indican los 12 transectos de tendencia noreste. (Tomado de [Ecovera, 2022](#)).

El análisis permitió también resaltar las zonas del cuerpo de agua con la mayor acumulación y pérdida de material (Figura 6-11). Dentro de estas se destaca una zona de pérdida de material de aproximadamente 18 ha en la zona cercana al canal de marea actual donde la profundidad es alrededor a 2,20 m. Las zonas de acumulación de material se muestran en: 1) las orillas del costado sur de la ciénaga, 2) una zona de baja profundidad (30 y 60 cm) y de aproximadamente 6 ha y 3) en la acumulación de material al sur de la barra probablemente correlacionado con el desplazamiento de la barra hacia el sur desde 2005 hasta 2022.

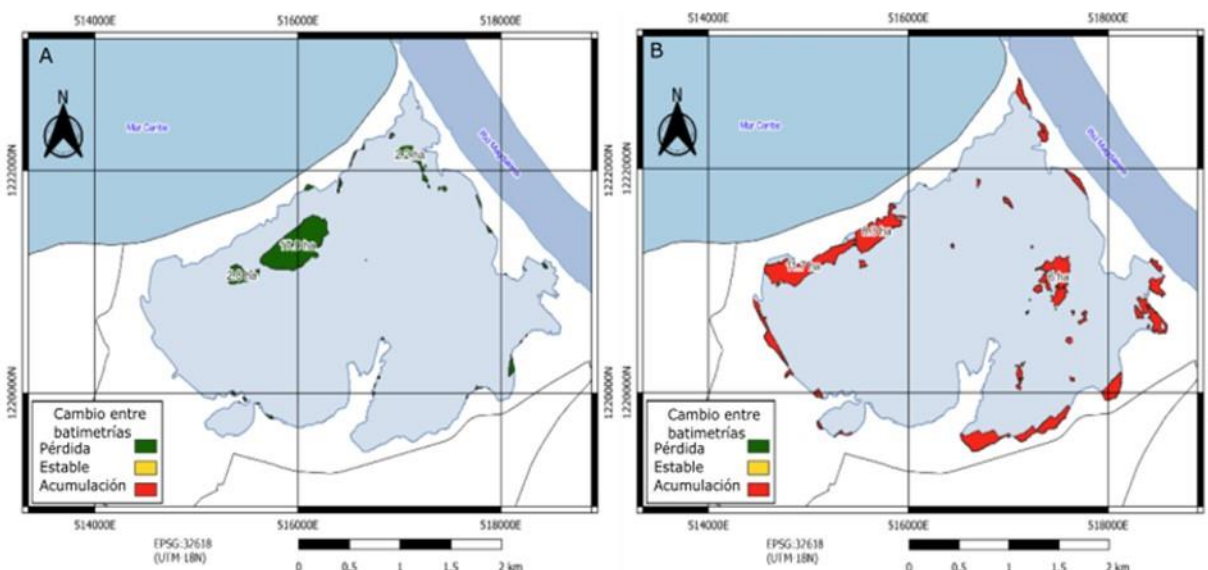


Figura 6-11. Modelos batimétricos adquiridos en el año 2005 (A) y el año 2022 (B) en el área de la Ciénaga Mallorquín. (Tomado de [Ecovera, 2022](#)).

6.2.1.4 Línea de costa

La línea de costa en la ciénaga de Mallorquín ha tenido un comportamiento dinámico en los últimos años, condición que ha impulsado a las autoridades ambientales, investigativas y académicas al abordar estudios con el objetivo de comprender y evaluar las presiones y tensores que se encuentran involucrados en la dinámica de la línea de costa.

Dentro de los análisis realizados para evaluar los cambios de la línea de costa en la ciénaga de Mallorquín, con enfoque regional; se encuentra el informe técnico *"Memoria de los mapas atlas de la línea de costa del Caribe central colombiano (sector Cartagena – Bocas de Ceniza)"* (1990). El informe se centra en la descripción de las características geomorfológicas que contiene la línea de costa en el sector comprendido entre Cartagena y Bocas de Ceniza, sobre la cual se identifican los riesgos geológicos existentes donde la erosión de las playas y acantilados toman un lugar preponderante.

El sector comprendido entre Punta Sabanilla – Bocas de Ceniza el cual abarca la ciénaga de Mallorquín, se describe como una costa no consolidada y fácilmente erosionable. Esta descripción se atribuye por el tipo de sedimentos presentes junto con los registros históricos de fotografías aéreas y mapas. Dentro de las presiones existentes que dinamizan la erosión en el área están los tajamares del río Magdalena, desde su construcción y hasta la fecha de la publicación del informe (1990) se calculaban una erosión que sobrepasa los 63 m/año.

Otro análisis con enfoque local que aborda el dinamismo de la línea de costa en la Ciénaga de Mallorquín, corresponde al informe "Ordenamiento ambiental de la zona costera del departamento del Atlántico" elaborado por el [INVEMAR \(2007\)](#). Este definió a las zonas costeras como un recurso natural único, frágil y limitado en el país, a la vez que la importancia de las mismas como espacios de confluencia de procesos ecológicos, económicos, sociales e institucionales, y la relevancia de la elaboración de procesos en ordenamiento territorial ambiental como herramientas para el control de las actividades producidas en las zonas costeras.

En el informe técnico, se realizó un análisis en el retroceso de la línea de costa en la ciénaga de Mallorquín para el periodo de (1973 al 2005). El mismo se logró por medio de la digitalización de información secundaria (IGAC) e interpretación visual de productos en percepción remota, tales como fotografías aéreas, imágenes LandSat para el periodo de análisis, además del levantamiento de la línea de costa con tecnología GPS (Figura 6-12).

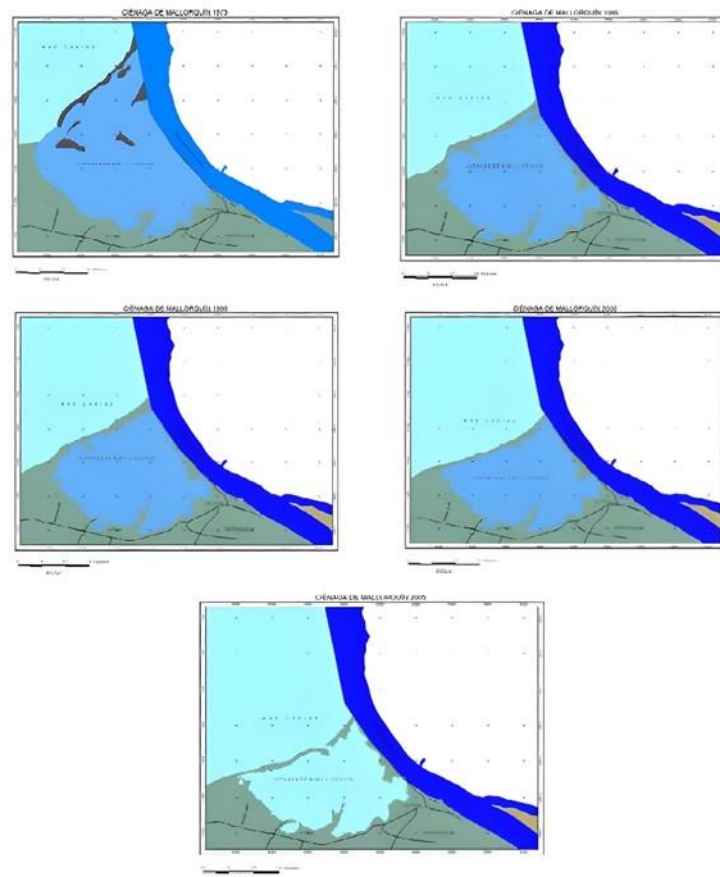


Figura 6-12. Retroceso de línea de costa en la Ciénaga de Mallorcaín, años 1973, 1986, 1990, 2000 y 2005. (Tomado de INVEMAR, 2007).

Los resultados obtenidos muestran que para el periodo de 1973 al 1986, la línea de costa de la ciénaga tuvo un retroceso de 989 m. Para el siguiente periodo 1986 al 1990 la línea de costa retrocedió 210 m, y entre 1990 al 2000 retrocedió 560 m, finalmente para los años 2000 y 2005 la línea de costa retrocedió 280 m.

El informe concluyó que la dinámica costera de la ciénaga de Mallorcaín presenta rasgos importantes como: la tendencia de ubicación de la boca de la ciénaga de Mallorcaín es hacia las zonas de mayor pendiente de la playa. El tajamar obstaculiza el tránsito de sedimento proveniente del norte, permitiendo su depósito en la isla de Salamanca (Este) e interrumpiendo el aporte de sedimento hacia el sur, esto contribuye al retroceso acelerado de la barra de Mallorcaín, la cual viene retrocediendo hacia el continente en busca de su equilibrio, con retrocesos de 61,48 m/año, confirmando los cálculos reportados por Molina *et al.* (2001) y Universidad del Norte (2005). Estas modificaciones son el resultado de la interacción de agentes climáticos, oceanográficos y topografía submarina.

La caracterización del dinamismo geomorfológico resulta clave en el análisis de la evolución de las líneas de costa. En el documento “Cambios morfológicos del prodelta del río Magdalena” del 2017 ([Madrid, 2017](#)) se realizó un análisis de la morfología y los cambios del fondo marino del prodelta del río Magdalena, el cual tiene influencia en la ciénaga de Mallorquín; con el objetivo de identificar la evolución de la línea de costa en el área de estudio desde un enfoque cuantitativo, a partir de la compilación de modelos batimétricos en un rango de tiempo de 80 años (Figura 6-13). Se tiene en cuenta los rasgos ambientales y físicos presentes dentro del área de estudio tales como: tectónica y rasgos estructurales, geología litoral, clima, vientos, oleaje-mareas, cambios del nivel relativo del mar, insumos para el análisis.

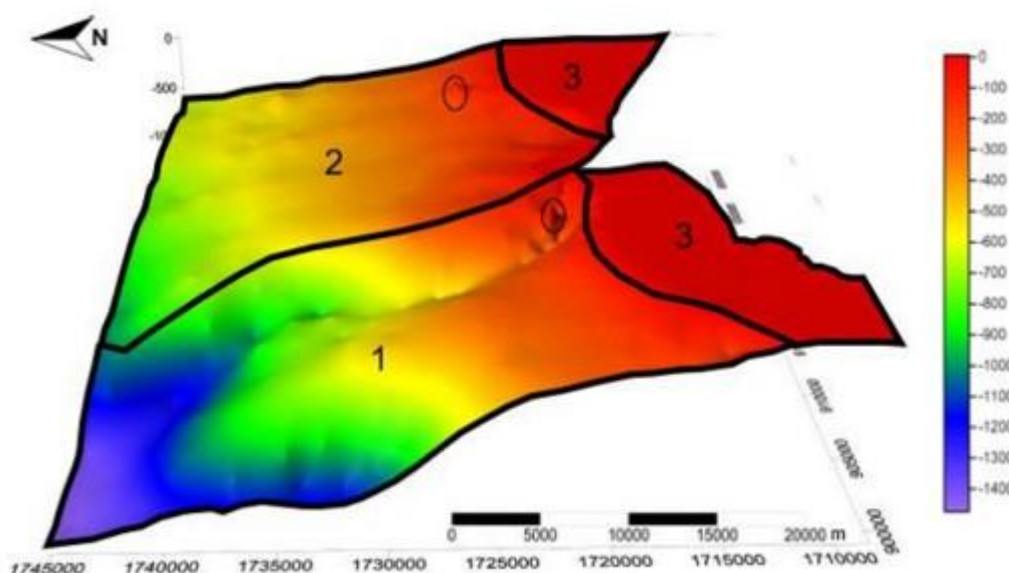


Figura 6-13. Modelo 3D de la superficie batimétrica frente a la desembocadura del río Magdalena, año 2004.
(Tomado de [Madrid, 2017](#)).

Dentro de los resultados se realizó una descripción morfológica del área de estudio con base a los modelos 3D de los años de 1935, 1999 y 2004, donde se observó que durante el periodo de 1935-2004 hubo un aumento del volumen de sedimentos de fondo entre 25 y 29 km³, asociados con 30 m³/m². Relacionado con esta ganancia, se observa que hacia la línea de costa los perfiles se han profundizado, mientras que costa afuera se presenta somerización. Esta tendencia fue contraria entre 1999 y 2004 (5 años), con pérdidas de ~4 km³ (3 m³/m²).

El autor menciona que trabajos futuros se enfocarían en la distribución espacial de estos cambios volumétricos para identificar patrones que podrían vincularse con los procesos que posiblemente desencadenaron estas tendencias de acumulación y erosión.

Por otro lado, el documento síntesis proceso ruta de declaratoria de la Ciénaga de Mallorquín como área protegida del 2019, ([EPA-Barranquilla Verde, Uniatlántico, 2019](#)) menciona la importancia de este tipo de ecosistemas en la conservación de la diversidad biológica, reconoce las presiones de origen antrópico que ponen en riesgo al sistema lagunar costero y busca por medio de formulación de herramientas en ordenamiento territorial – ambiental mitigar estos impactos (Figura 6-14).

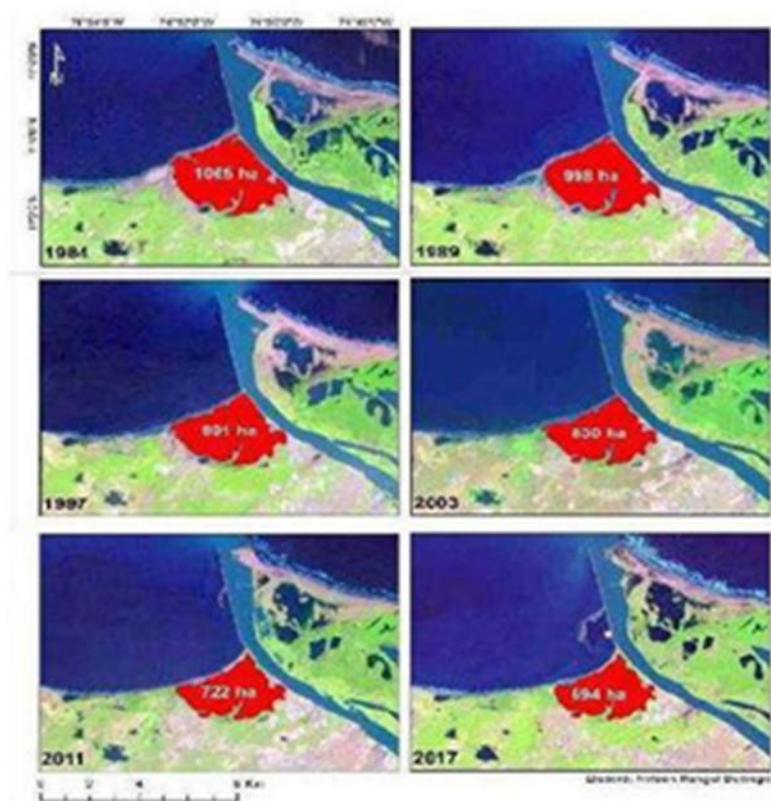


Figura 6-14. Set de imágenes de satélite empleadas en el análisis evolutivo reciente de la Ciénaga. (Tomado de: [Epa – Barranquilla Verde & Uniatlántico, 2018](#)).

El documento realizó un análisis de los motores directos en la transformación y pérdida de la biodiversidad en la ciénaga de Mallorquín, y aborda a la erosión costera como un factor en la disminución y pérdida de los elementos ecosistémicos de la ciénaga. La situación de la barra en la ciénaga de Mallorquín experimenta altas tasas de erosión, agravadas por eventos meteorológicos extremos como tormentas tropicales, mares de leve y vendavales. Los manglares, lagunas costeras y playas son rasgos morfológicos que se modifican constantemente debido a la dinámica litoral. Además, el material transportado por el río Magdalena contribuye a la dinámica de espigas y cordones litorales al aportar sedimentos. Las actividades humanas también son responsables de cambios y tensiones en la dinámica natural de los ecosistemas y sus servicios ecosistémicos.

Recientemente se publicó el documento “Vulnerabilidad al cambio climático y lineamientos de adaptación para el distrito especial industrial y portuario de Barranquilla” (2020). ([Hernández-Narváez, D et al., 2020](#)) su objetivo se centró en contribuir y mitigar los impactos ocasionados por el cambio climático y proponer medidas eficientes de adaptación. El informe técnico elaboró proyecciones de cambios de línea de costa para periodo comprendido entre los años 1990 y 2020, se recopiló imágenes satelitales LandSat y Sentinel las cuales fueron sometidas a una rectificación geométrica mediante georreferenciación, y re proyección al sistema de referencia UTM con el Datum WGS 84 y Zona 18 norte, que permite trabajar con unidades métricas según los requerimientos de la aplicación *Digital Shoreline Analysis* “DSAS” (Figura 6-15); esta herramienta es una extensión para el software ArcGIS, con la cual fueron calculadas las estadísticas de la línea de costa.

Nombre capa	Sensor	Identificador	Fecha de adquisición	Resolución Tamaño del pixel (m)	Muestra gráfica
LineaCosta_2009	Rapideye	2009-11-27T161537_RE4_1B-NAC_4504206_96366	11/27/2009	7	
LineaCosta_2011	Rapideye	2011-12-28T162949_RE2_1B-NAC_8896075_132454_orto	12/28/2011	7	
LineaCosta_2012	Rapideye	2012-11-28T163623_RE4_1B-NAC_11631599_151900	11/28/2012	6.45	
LineaCosta_2015	Rapideye	2015-02-25T161146_RE5_1B-NAC_20629877_302560	2/25/2015	6.64	
LineaCosta_2017	Sentinel	Sentinel_Mosaic_o_S2AL1C_2017-01-27.tif	1/27/2017	10	
LineaCosta_2020	Sentinel	BOA Reflectance-10m_MTD_MSIL_2A	3/2/2020	10	

Figura 6-15. Recopilación de imágenes satelitales y fotografías aéreas para el análisis multitemporal. (Tomado de [Hernandez-Narváez et al., 2020](#))

Como resultado, se obtuvieron 11 líneas de costa entre los años 1990 y 2020 con una tasa de regresión lineal (LRR) negativos para el periodo. La regresión lineal de los últimos 30 fue en promedio de -30,6878 m/año, y se estima que para el 2030 haya una perdida alrededor de 175 ha (Figura 6-16).

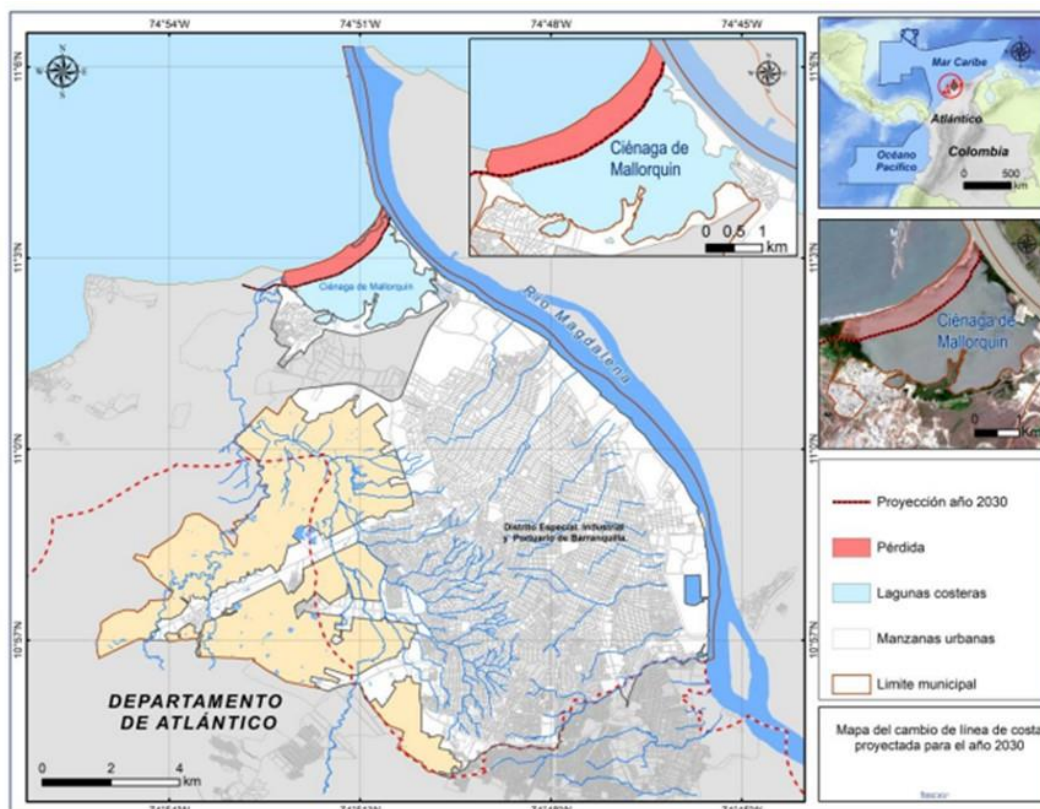


Figura 6-16. Mapa del escenario de cambio en la línea de costa para el año 2030. (Tomado de [Hernandez-Narváez et al., 2020](#))

Los documentos descritos concluyen que en la ciénaga de Mallorca se viene presentando un aumento progresivo de la línea de costa por presiones antrópicas y naturales, reconocen la importancia ecosistema de la ciénaga y proponen medidas de control y monitoreo enfocada a la conservación de la biodiversidad presente en el área. Asimismo, recomiendan el fortalecimiento entre las corporaciones ambientales y la comunidad como una estrategia en la gobernabilidad del territorio enfocado a su conservación.

Cabe mencionar el análisis del comportamiento de la línea de costa del artículo “Cambios recientes de la línea de costa entre Bocas de Ceniza y Puerto Velero (Atlántico, Colombia)” del 2022, [Ferrucho-Maloof, I., et al. \(2022\)](#). Cuyo enfoque consistió en relacionar los procesos hidrodinámicos de los oleajes con el transporte de sedimentos, de acuerdo con los procesos

sedimentarios en Bocas de Cenizas. Se destacó los sistemas de información geográfica (SIG) al permitir realizar cálculos usando técnicas geoespaciales y la eficacia de la herramienta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) para facilitar un análisis exhaustivo del progreso temporal de la geometría de las alteraciones de la línea de costas.

Como insumo, en la metodología se procesaron imágenes del servidor de Google Earth para el periodo 2005 al 2020. También, se digitalizaron las líneas para cada año obteniendo las capas de *baseline* y *shoreline*, con las cuales se generaron transectos con la herramienta DSAS. Adicionalmente, se tomaron en cuenta los cálculos de *Linear Regression Rate* (LRR) y *End Point Rate* (EPR). El método de regresión lineal determina la tasa de cambio mediante una tendencia lineal entre las fechas más antiguas y recientes de la línea costera, mientras que EPR solamente toma en cuenta dos líneas de costa, y su resultado se basa en la división de la distancia del movimiento de la costa por el tiempo transcurrido entre las mediciones iniciales y las más recientes (Figura 6-17).

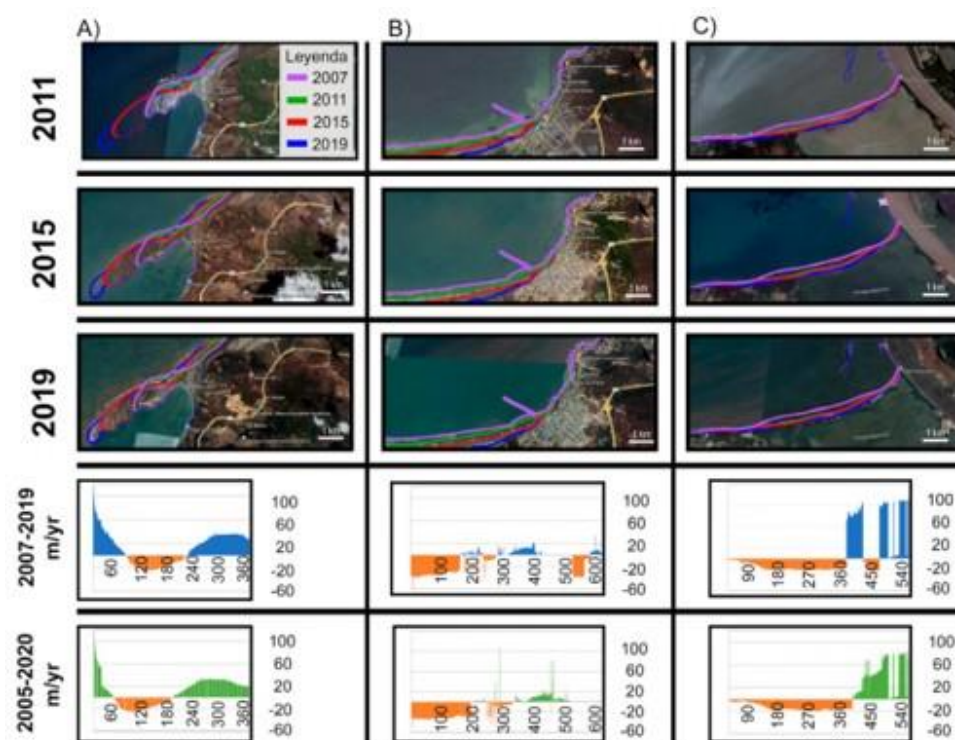


Figura 6-17. Set de imágenes satelitales de Google Earth y los cambios en la línea costera calculados en Puerto Velero, Puerto Colombia y ciénaga de Mallorquín. (Tomado de [Ferrucho-Maloof, I. et al., \(2022\)](#)).

Frente al resultado obtenido en la ciénaga de Mallorquín, se presentó una variabilidad significativa en el periodo abordado, teniendo en cuenta los cambios antrópicos que han ocurrido en el tiempo e instalaciones de estructuras en áreas de influencia de la ciénaga que

han ocasionado un desequilibrio en el balance de los sedimentos, presentándose erosión y acumulación a lo largo de la playa.

6.2.2 Análisis multitemporal de la dinámica litoral

El sensoramiento remoto se planteó con el objetivo de llevar a cabo un análisis multitemporal de la dinámica litoral en la Ciénaga de Mallorquín, centrándose en dos dimensiones fundamentales. En primer lugar, se abordó el comportamiento de las tasas de erosión y acreción costera, evaluando sus patrones y variaciones a lo largo del tiempo. En segundo lugar, se investigó la formación de la flecha litoral presente en la Ciénaga.

6.2.2.1 Análisis de la línea de costa en la ciénaga de Mallorquín

A partir de las líneas de costa digitalizadas a lo largo de los 11 km de la zona litoral de la ciénaga de Mallorquín (Figura 6-18), se identificaron 117 transectos con distancias negativas, representando un significativo 61,57% del área de estudio. Los transectos con distancias negativas indican posiciones de la línea de costa que han experimentado erosión.

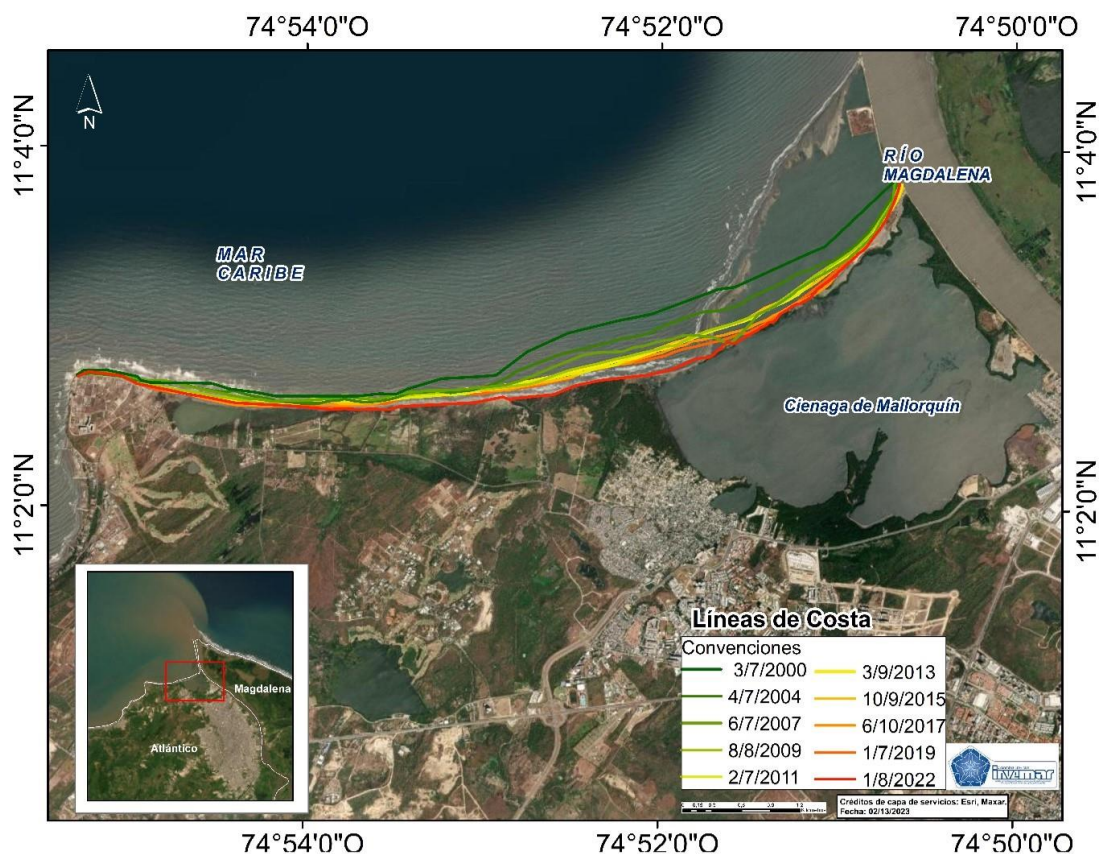


Figura 6-18. Líneas de costa periodo 2000 – 2022 en la ciénaga de Mallorquín.

Por otro lado, los 73 transectos restantes exhiben distancias positivas, lo que constituye un 38,42% del total. Estos transectos positivos sugieren áreas donde la línea de costa ha experimentado acreción, es decir, un avance o expansión hacia el mar.

Esta distribución proporciona una identificación de la variabilidad en las tendencias de cambio en la línea de costa en la ciénaga de Mallorquin, destacando la prevalencia de procesos erosivos en comparación con los fenómenos de acreción.

En la Tabla 6-2 se muestra la clasificación resultante de las líneas de costa basando el método de tasa de regresión línea (LRR).

Tabla 6-2. Clasificación de movimiento de la línea de costa según la tasa de regresión lineal

Categoría	Tasa de cambio de la línea de costa (m/año)	Clasificación
1	$-22,6 < LRR \leq -22,0$	Erosión Alta
2	$-22,0 < LRR \leq -14,7$	Erosión media
3	$-14,7 < LRR \leq -7,4$	Erosión baja
4	$-7,4 < LRR \leq -0,5$	Erosión muy baja
5	$-0,5 < LRR \leq 0,5$	Erosión - Acreción
6	$0,5 < LRR \leq 2,2$	Acreción muy baja
7	$2,2 < LRR \leq 4,4$	Acreción baja
8	$4,4 < LRR \leq 6,6$	Acreción media
9	$6,6 < LRR \leq 7,0$	Acreción Alta

Las tasas de cambio generales en la zona litoral presentan una variación significativa, abarcando desde -22,53 m/año hasta 7,00 m/año. Los valores negativos indican zonas de erosión, representadas en tonos rojos en la visualización, reflejando el movimiento de la costa hacia la tierra. Por otro lado, los valores positivos, mostrados en azules, señalan áreas de acreción, con la línea de costa moviéndose hacia el mar (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

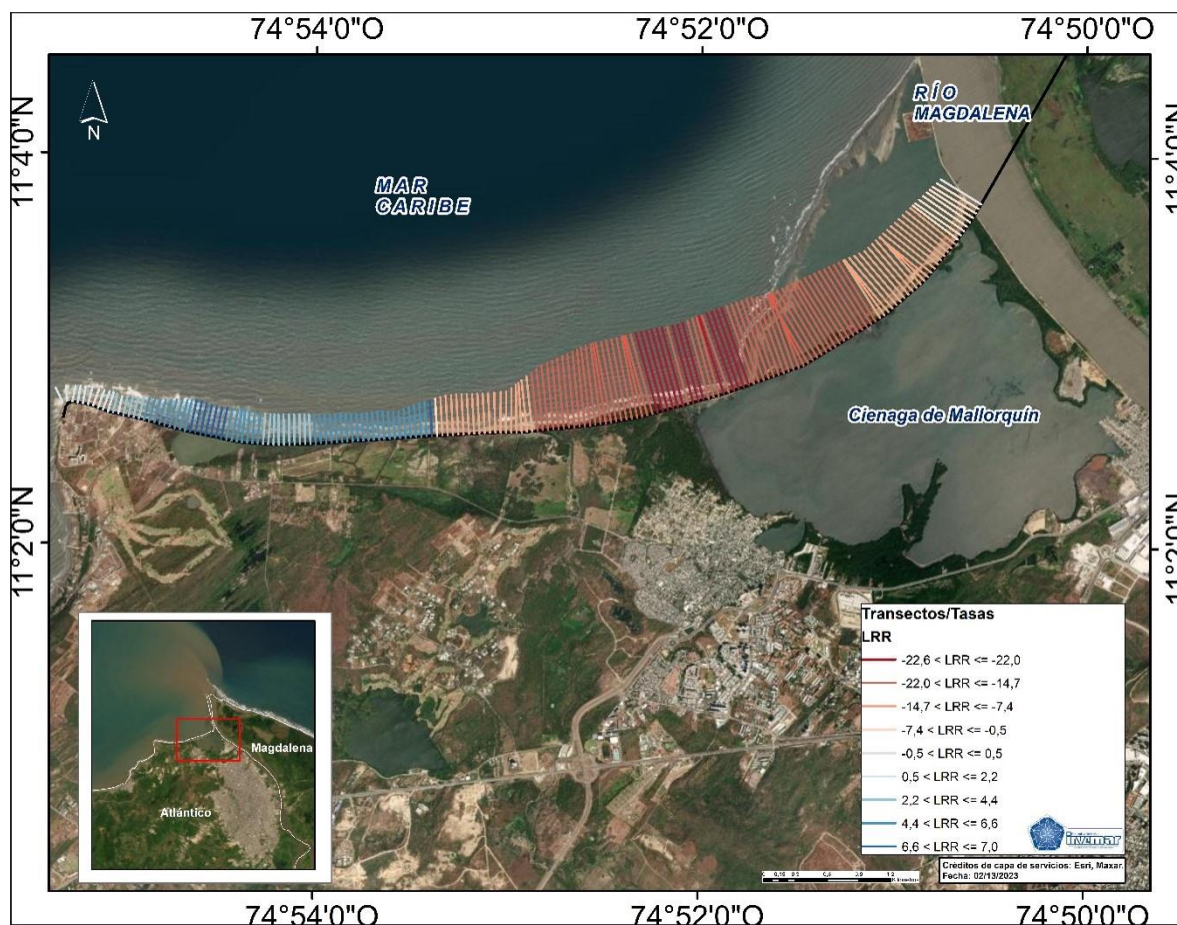


Figura 6-19. Tasa de cambio en la zona litoral, ciénaga Mallorquín.

Los resultados revelan que una parte considerable de la zona litoral ha experimentado erosión costera, con algunas áreas registrando mayores tasas de cambio que otras.

En particular, se identificó el ID 132 como aquel con la máxima distancia negativa, exhibiendo una tasa de cambio erosivo de -22,53 m/año (Figura 6-20). Por otro lado, el transecto con el ID 31 destaca como el que presenta la máxima distancia positiva de acreción, con una tasa de cambio de + 7,00 m/año y una tasa de acreción promedio de 4,51 m/año.

Los resultados presentados destacan un notorio índice de erosión costera en la Ciénaga de Mallorquín, contrastado con una proporción menor de acreción costera localizada al occidente del área de estudio. Este análisis confirma la tendencia hacia la erosión en la ciénaga, impulsada por condiciones oceanográficas y factores antropogénicos que inducen la remoción y transporte de sedimentos hacia los fondos marinos, en conjunto con las formaciones geológicas y geomorfológicas presentes en la zona.



Figura 6-20. Localización del transecto con la tasa de cambio máxima negativa y positiva.

Aunque proporcionan información valiosa sobre la variación de la línea de costa, es relevante señalar que las imágenes utilizadas para extraer estas líneas provienen de satélites de resolución media, limitando la precisión al digitalizarlas. Este factor debe considerarse al interpretar las imágenes y reconocer la posibilidad de errores asociados.

En consecuencia, los resultados respaldan la necesidad de un análisis y evaluación continua del riesgo en las áreas más afectadas por la erosión costera. Además, se sugiere la implementación de monitoreos y seguimientos regulares para evaluar el progreso en términos de pérdida de playa y posibles impactos socioambientales.

6.2.2.2 *Análisis multitemporal de la flecha litoral en la Ciénaga de Mallorquín.*

Las flechas litorales son formaciones sedimentarias que se producen en algunas de las desembocaduras de los ríos. El proceso se produce debido a que la corriente del río, que transporta arena, se frena al chocar con las olas procedentes del mar, que también transportan

sedimentos. Al hacerse nula la velocidad de ambas, la arena cae al fondo produciendo un depósito alargado (la flecha) que parte de la zona donde el río llega al mar y crece en la dirección que determina el contacto entre río y frentes de olas.

Con el fin de analizar la evolución morfológica de la flecha litoral en la Ciénaga de Mallorquín y su actual clasificación dentro de los sistemas de barreras, se determinó mediante registros históricos de imágenes satélites la flecha litoral su dinámica y comportamiento espacial dentro de un periodo de análisis de 16 años (Figura 6-21).

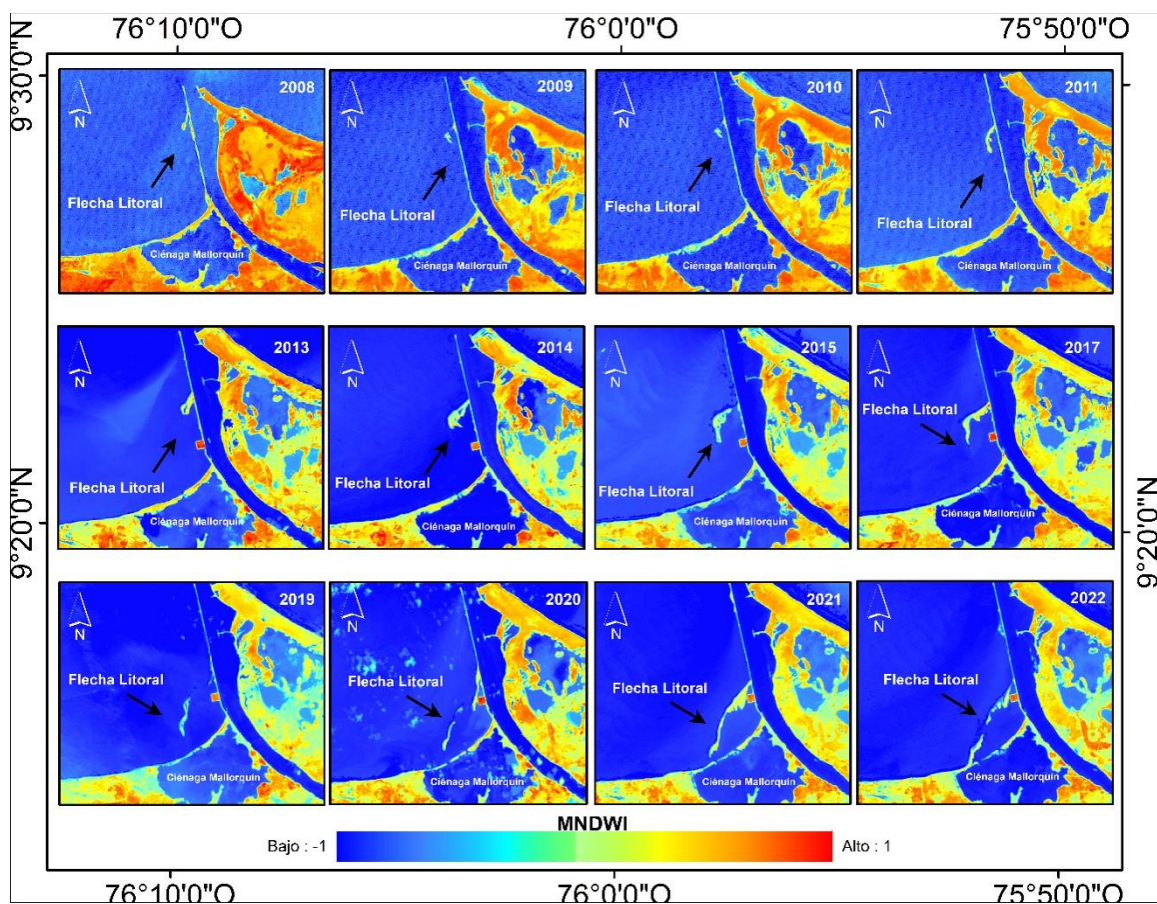


Figura 6-21. Identificación de la flecha litoral con imágenes Landsat, por medio de la combinación de bandas agua/tierra (Green- SWIR) para el periodo 2008 –2022 el área de la Ciénaga de Mallorquín.

En el contexto del aporte fluvial, identificado como el principal mecanismo de transporte de materiales, se destaca la importancia funcional del río Magdalena. No solo actúa como fuente preeminente de transporte de sedimentos, sino que también establece una dinámica participativa con la flecha litoral, moldeando su evolución morfológica. El análisis multitemporal proporciona un panorama de la magnitud y variabilidad de este aporte fluvial, fundamental para comprender los cambios en la configuración de la flecha litoral.

Por otro lado, la deriva litoral, influenciada por procesos erosivos a lo largo de la línea de costa de la ciénaga, se revela como el agente morfodinámico preponderante. Los sistemas de información geográfica (SIG) empleados en el análisis permiten una monitorización detallada de la redistribución de sedimentos por parte de la deriva litoral a lo largo de la costa. Este fenómeno, intrínsecamente conectado a la erosión costera, constituye un factor esencial en la dinámica evolutiva de la flecha litoral expresado en sus dimensiones geográficas (Tabla 6-3).

Tabla 6-3. Valores de longitudes de la flecha litoral en la Ciénaga de Mallorquín para el periodo comprendido entre 2008 y 2022.

AÑO	LONGITUD (km)*
2008	1,125
2009	1,044
2010	0,934
2011	1,199
2013	1,203
2014	1,638
2015	3,235
2016	2,106
2017	2,989
2019	2,928
2020	3,465
2021	3,272
2022	3,598
2008	1,125
2009	1,044

El análisis multitemporal permitió identificar el comportamiento espacial (Figura 6-22), establecer y concluir dos características principales en relación con la evolución y dinámica morfológica de la flecha litoral en la Ciénaga de Mallorquín. Su localización en cercanías de la desembocadura del río Magdalena, define al área como un sector dinámico, donde tanto el aporte fluvial como la deriva litoral, guiados por procesos erosivos en la línea de costa, juegan un papel muy importante.

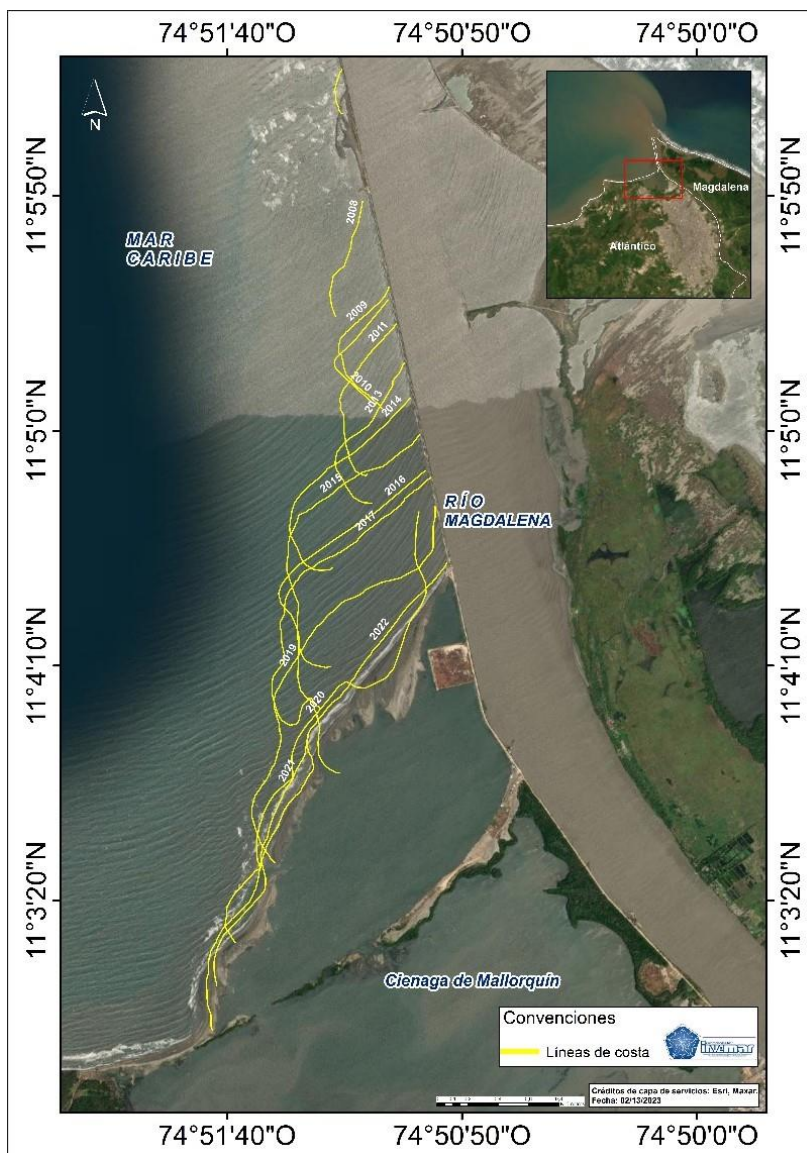


Figura 6-22. Comportamiento espacial de la flecha litoral para el periodo 2008 – 2022, en la Ciénaga de Mallorquín

6.3 CONCLUSIONES

Los análisis de las tendencias de cambio en la línea de costa de la ciénaga de Mallorquín revelan un panorama complejo y dinámico, marcado por la coexistencia de procesos tanto de erosión litoral como de acreción. El análisis geomorfológico de las variaciones en la morfología costera durante las últimas dos décadas indica una predominancia general de tasas de erosión superiores a las de acreción, evidenciando una pérdida neta de terreno en las proximidades de la ciénaga.

La cuantificación estadística de la tasa de erosión costera, expresada en valores de metros por año, marca la magnitud de este fenómeno, destacando una disminución significativa en la línea de costa cercana a la ciénaga de Mallorquín y, simultáneamente, procesos de acreción en la zona occidental. Estos resultados, respaldados por el uso del *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), en la línea de costa corroboran las preocupaciones expresadas por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) en sus estudios sobre la costa Caribe del departamento.

La clasificación de la ciénaga de Mallorquín en rangos de amenaza alta y media según los análisis de la CRA indica la vulnerabilidad sustancial de esta área a los cambios en la línea de costa. Es relevante destacar que esta vulnerabilidad no es resultado exclusivo de procesos naturales, sino que se ve agravada por la interacción de factores oceanográficos, climatológicos y antrópicos. Estos elementos combinados han dejado huellas visibles en la línea de costa, manifestando la necesidad urgente de estrategias de mitigación y adaptación.

En términos socioambientales, los impactos derivados de estos procesos erosivos son innegables. La fragilidad de la línea de costa expone a comunidades locales y ecosistemas a consecuencias significativas. La comprensión integral de estos fenómenos, desde su origen técnico hasta sus repercusiones en el entorno, es esencial para desarrollar soluciones efectivas que preserven la sostenibilidad de la ciénaga de Mallorquín y mitiguen los impactos socioambientales asociados con los procesos erosivos en curso.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Coley, I., Duran-Izquierdo, M., Rodríguez-Cavallo, E., Mercado-Camargo, J., Mendez-Cuadro, D., & Olivero-Verbel, J. 2019. Quantification of microplastics along the Caribbean Coastline of Colombia: pollution profile and biological effects on *Caenorhabditis elegans*. *Marine pollution bulletin*, 146, 574-583.
- 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.
- Anderson, F. M. 1926. Original source of oil in Colombia. *AAPG*, 10 (4):382- 404. Tulsa.
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation). 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater, 23 edition. Washington. 1368 p.
- Almario, F., Mojica, P., Cuellar, S., Medina, C y Mejía, C. 2014. Boletín Tecnológico: Biorremediación de sitios contaminados. Banco de patentes SIC. Bogotá, Colombia. 108 p.
- Alvarado, V., Bermúdez-Rojas, T., Romero, M., & Piedra, L. 2014. Plantas nativas para el control de la erosión en taludes de ríos urbanos. *Spanish Journal of Soil Science*, 4, 99-111. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2014.V4.N1.07>
- Arce, p. 2018. Humedales artificiales: Una alternativa para tratamiento de aguas de producción. [Monografía para optar por el título de Especialista/ Fundación Universidad de América]. Bogotá, Colombia en: <https://www.iucn.org>
- Arellano-Méndez, L., Bello-Pineda, J., Aké-castillo, J., Pérez-España, h., Martínez- Cardenas, L. 2016. Distribución espacial y estructura morfométrica de las praderas de *Thalassia testudinum* (Hydrocharitaceae) en dos arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *Biología Tropical*. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v64n2/0034-7744-rbt-64-02-00427.pdf>
- Barrero, D., Pardo, A., Vargas, C.A., and Martínez, J.F., 2007, Colombian sedimentary basins: Nomenclature, boundaries and petroleum geology, a new proposal, in Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH and B&M Exploration Ltd Bogotá, v. 1, p. 92.
- Balbuena, 2012. Arrastre de sedimentos. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de México. 66p.
- Bayona Sánchez, F. E. 2016. Análisis multitemporal de los ecosistemas de manglar presentes en la ciénaga de Mallorquín, departamento del Atlántico. 11 p.

- Blanco, J, Velázquez, Y. Tamayo, J. 2023. Manejo integrado de pastos marinos en el sector de Aserradero-Chivirico, Santiago de Cuba. Orange Journal. Vol 5: 61-71.
- Blott S. J. y K, Pye. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth surface processes and Landforms, 26(11), 1237-1248.
- Boucher, J. & Friot, D. (2017). Primary microplastics in the oceans: a global evaluation of sources. Switzerland. IUCN, 43pp, <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01>.
- Buchman, M.F. 2008. Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs). NOAA OR&R report 08-1 Seattle WA, office of response and restoration division, national oceanic and atmospheric administration. 34 p.
- CAF, LAIF, ADF. 2021. Análisis para la definición de alternativas, estudios y diseños preliminares para el manejo ambiental de la ronda de la Ciénaga de Mallorquín frente a los barrios La Playa y las Flores en el Distrito de Barranquilla, Colombia. Barranquilla: Barranquilla Verde. 10 p.
- Calva Benítez, L. G., A. Pérez Rojas y A. Z. Márquez García. 2006. Contenido de carbono orgánico y características texturales de los sedimentos del sistema costero lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas. Hidrobiológica, 16(2), 127-135.
- Castillo-Viana. M.J., T. Córdoba-Meza, P. Obando-Madera y L.J. Vivas-Aguas. 2022. Metodología de la operación estadística índice de calidad de aguas marinas y costeras – ICAM. Versión 3. Santa Marta. 90 p.
- Celis, J., Junod, J y Sandoval, M. 2005. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. Theoria. 14(1): 17-25.
- Cobo y Piñeros. 2020. Infraestructura Natural: oportunidades para optimizar la gestión de sistemas hídricos. UICN. Quito-Ecuador. 30 p.
- Colina, J. I. R., y Luna, I. M. L. 2017. Diseño y cálculo de módulos para el restablecimiento hidrodinámico de la ciénaga de Mallorquín. Ciencia e Ingeniería: Revista de investigación interdisciplinar en biodiversidad y desarrollo sostenible, ciencia, tecnología e innovación y procesos productivos industriales, 4(2), 5.
- Conesa, V. 2009. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Cuarta Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, 867 p.
- Díaz, J y Garzon, J. 2001. Estado de las praderas de pastos marinos en Colombia. INVEMAR, Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2001. Ospina-Salazar G.H. ; Acero, A. (Eds). Medellín: Servigráficas, 2002. 178 p.

- Díaz J. M., J. F Garzón & S Zea. 1995. Los arrecifes coralinos de la Isla de San Andrés, Colombia: estado actual y perspectivas para su conservación. Primera Edición. Editora Guadalupe Ltda. Colombia. 147 p.
- Dunlop, T. 2016. Optimal Oyster Reef design for shoreline protection using combinations of oyster shell filled bags and sandbags. [Thesis/The school of civil and Environmental Engineering]. 184 p.
- Durán, J. C. B., Gómez, A. M. O., Vega, R. J. R., Ibáñez, S. G., y Toscano, R. C. 2018. Contaminación en la Ciénaga de Mallorquín: una perspectiva sociojurídica. 31 p.
- Duque, E. y Escobar, C. 2016. Geomecánica. Universidad Nacional de Colombia. Capítulo 8. En [<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/erosiondesuelos.pdf>]. 14 p.
- EAFIR y CARDIQUE. 2021. Programa de rehabilitación y restauración de ecosistemas marinos y costeros degradados, conservación de especies y biodiversidad marina de la bahía de Cartagena. 174 p.
- Ecoversa. 2022. Plan de Recuperación Ambiental de la Ciénaga de Mallorquín. Informe Final Diagnostico. Producto 3. Corporación Ecoversa. 91 p.
- Edokpayi, J. N., Odiyo, J. O., Popoola, E. O., & Msagati, T. A. (2017). Evaluation of temporary seasonal variation of heavy metals and their potential ecological risk in Nzhelele River, South Africa. Open Chemistry, 15(1), 272-282. <https://doi.org/10.1515/chem-2017-0033>
- EPA. 2007. Method 7473: Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry. Test methods for evaluating, solid waste physical/chemical methods, SW 846. Environmental Protection Agency, office of solid waste and emergency response, Washington, DC, U.S. 17 p.
- EPA Barranquilla Verde y Uniatlántico. 2018. "Condiciones iniciales para la determinación de declaratoria de la Ciénaga de Mallorquín como área protegida". Barranquilla, Colombia.
- EPA-BARRANQUILLA VERDE, UNIATLÁNTICO. 2019. Proceso ruta de declaratoria de la ciénaga de Mallorquín como área protegida. Barranquilla.: Informe técnico Fase I: Preparación. 279 p. octubre 2019.
- EPA-BARRANQUILLA VERDE, Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) y CAF -Banco de Desarrollo de América Latina. 2022. Análisis para la definición de alternativas, estudios y diseños preliminares para el manejo ambiental de la ronda de la Ciénaga de Mallorquín frente a los barrios La Playa y Las Flores en el Distrito de Barranquilla, Colombia. 10 p.
- Escobar, J. 2002. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. CEPAL. Serie Recursos naturales e infraestructura. 68 p.

- Fernández A. 2022. Contaminación por microplásticos. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias. Vol 73: 2, 100 p.
- Ferrucho-Maloof, I. E., Otero-Díaz, L. J., & Cueto-Fonseca, J. E. 2022. Cambios recientes de la línea de costa entre Bocas de Ceniza y Puerto Velero (Atlántico, Colombia). Boletín De Geología, 44 (3), 159–178.
- Folk R. Y W Ward. 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 27, 3-27.
- Flórez-Leiva, Rangel-Campo, Díaz-Ruíz, Venera-Pontón, & Díaz-Pulido. 2010. Efecto de la sedimentación en el reclutamiento de las macroalgas *dictyota spp.* y *lobophora variegata*: un estudio experimental en el parque nacional natural Tayrona, Caribe Colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost 39 (1): 41-56 pp.
- Fuentes Gándara, F. A., Pinedo Hernandez, J. J., & Marrugo Negrete, J. L. 2018. Metales pesados en especies ícticas de la ciénaga de Mallorquín, Colombia. 12 p.
- Garcés-Ordóñez, O., Castillo-Olaya, V., Granados-Briceño, A., García, L., Díaz, L., 2019. Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. Mar. Pollut. Bull. 145, 455-462. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.06.058
- Garcés-Ordóñez O., Espinosa L., Pereira R., Muniz M. 2020. Impact of tourism activity on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean. Mar Pollut Bull, 160: 111558. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111558>.
- Garcés-Ordóñez, O., Díaz, L., Cardoso, R., Muniz, M., 2020a. The impact of tourism on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean. Mar. Pollut. Bull. 160, 111558. DOI: 10.1016/j.mar-polbul.2020.111558
- 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>.
- Garcés Ordóñez, O., 2022. Contaminación por microplásticos en manglares y playas del área marina protegida de Cispata, Caribe colombiano. Revista Ciencias Marinas y Costeras, 14(2), 9-25. <https://doi.org/10.15359/revmar.14-2.1>
- García, T. 2005. Diseño, construcción y evaluación preliminar de un humedal de flujo subsuperficial. [Tesis de grado/ Universidad de los Andes]. 68 p.
- Gómez Álvarez, J. C., & Salcedo Pabón, G. J. 2016. Evaluación de la calidad del agua en las Playas Turísticas de Puerto Colombia, Atlántico y su relación con las fuentes de contaminación.

- Hammerstrom, Kenworthy, Whitfield, Merello. 2007. Response and recovery dynamics of seagrasses *Thalassia testudinum* and *Syringodium filiforme* and macroalgae in experimental motor vessel disturbances. Marine Ecology Progress Series 345: 83-92.
- Harris, L. 2007. Designed Reef and Coastal Resortation and Erosion Potential Applications for the City of Herzlia, Israel. Florida Institute of Technology. Melbourne. 12 p.
- Hernández-Narváez, D., Romero, D., Vega A., Beltrán, A., Zamora, A. 2020. Vulnerabilidad al cambio climático y lineamientos de adaptación para el Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla. Informe Técnico Final. MINAMBIENTE – INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 90 p.
- Hidalgo-Ruz, V., D. Honorato-Zimmer, M. Gatta, P. Nuñez, I. Hinojosa and M. Thiel. 2018. Spatiotemporal variation of anthropogenic marine debris on Chilean beaches. Marine Pollution Bulletin, 126: 516-524. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.014>.
- 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.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019. Estudio Nacional del agua 2018. Bogotá, 452 p.
- INGEOMINAS. 1990 Memoria de los mapas atlas de la línea de costa del caribe central colombiano (sector Cartagena – bocas de ceniza).
- INGEOMINAS. 1999. Atlas de la línea de costa del Caribe Central Colombiano (Sector Cartagena – Bocas de Ceniza). INGEOMINAS.
- INGEOMINAS. 2001. GEOLOGÍA DE LAS PLANCHAS 16-17 GALERAZAMBA Y BARRANQUILLA. INGEOMINAS
- IGAC. 2007. Mapa Digital de Suelos del Departamento de Atlántico, República de Colombia. Escala 1:100.000. República de Colombia.
- INGEOMINAS. 2010. MEMORIA DE LOS MAPAS GEOMORFOLOGICOS A ESCALA 1:25.000 DE LAS PLANCHAS 17-III-A, 17-III-C, 17-I-B, 17-I-D, 17-III-B, 17-III-D, 17-II-A, 17-II-C, 17-IV-A Y 17-IV-C, 17_II_B, 17_II_D; 18_I_A, 18_I_C, 1(I_D, 18_II_A, 18_II_C, 18_II_B y 18_II_D . INGEOMINAS.
- INVEMAR. 2007. Ordenamiento ambiental de la zona costera del departamento del Atlántico. Informe Final. Editado por: A. López. Invemar – CRA. Santa Marta. 588 p.
- INVEMAR. 2018. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Bayona-Arenas, M. y Garc  sOrd   ez, O. (Ed). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA,

- CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico 2017. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 336 p.+ anexos.
- INVEMAR. 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, 224 Informe Técnico REDCAM 2022 Red de Vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 171 p.
- INVEMAR. 2022. Análisis histórico 2001-2021 de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Paola Obando y Luisa Espinosa (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico 2021. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 208 p.
- INVEMAR-CRA. 2023. Monitoreo de la calidad de las aguas marinas y costeras en el marco de la REDCAM y la evaluación de la calidad ambiental de Punta Astilleros orientada hacia la restauración ecológica, zona costera del Departamento del Atlántico. Informe Técnico Final. Convenio 009-2022. PRY-CAM-021-22. CRA-INVEMAR. Santa Marta. 79 p.
- Keesstra, S., Nues, J., Novara, A., Finger, D., Avelar, D., Zahra K y Cerdá, A. 2017. The superior effect of nature based Solutions in land management for enhancing ecosystem services. Elsevier. 610-611p.
- Kovač, M., A. Palatinus, Š. Koren, M. Peterlin, P. Horvat y A. Kržan. 2016. Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis. J. Vis. Exp. (118), e55161. <https://doi.org/10.3791/55161>.
- López-Rodríguez, Á., & Sierra Correa, P. C. (2005). Actualización y ajuste del diagnóstico y zonificación de los manglares de la zona costera del departamento del Atlántico, Caribe colombiano. Informe final.
- Madrid, D, A. 2017. Cambios morfológicos históricos en los fondos del prodelta del río magdalena, sector bocas de ceniza, costa caribe de Colombia.
- Magdaleno, F. 2005. Principios y técnicas de restauración fluvial. CEDEX. 13 p.

- Manjarrez, G., Blanco, J., González, B., Botero, C. M., & Díaz-Mendoza, C. (2019). Parásitos en playas turísticas: propuesta de inclusión como indicadores de calidad sanitaria. Revisión para América Latina. *Ecología Aplicada*, 18(1), 91-100.
- Marín, B. 2001. Establecimiento de valores indicativos del grado de contaminación de tóxicos químicos y microorganismos de origen fecal, como base para la expedición de normativas de la calidad de las aguas marinas de Colombia. Informe Técnico Final de Proyecto. 45p.
- Márquez, A. M., Márquez, C. M., Ospina, L. G., & Márquez, L. E. M. 1998. Variaciones morfológicas y texturales de las playas entre Barranquilla y flecha de Galerazamba (1935-1996). Boletín Científico CIOH, (18), 23-38.
- Mei, Y., Dalby, O., Kendrick, G., Statton, J., Sinclair, E., Fraser, M., Macreadie, P., Gillies, C., Coleman, R., Waycott, M., Van, K., Vergés, A., Ross, J., Campbell, M., Matheson, F., Jackson, E., Rasheed, M., Kirkman, H., Flindt, M., Lange, T., Miller, A y Sherman, C. 2020. Seagrass Restoration Is Possible: Insights and Lessons From Australia and New Zealand. 7: 10-11.
- MinAmbiente. 2015. Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015. Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, 653 p.
- Molina, A., Molina, C., Giraldo, L., & Barrera, R. 1999. Características estratigráficas y morfodinámicas de la franja litoral Caribe colombiana (sector Barranquilla (Bocas de Ceniza)-flecha de Galerazamba). Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, 28(1), 61-94.
- Molina, M. T. F., Sánchez, L. N. P., Benítez, S. V. B., Sánchez, L. J. G., Sáenz, A. M. P., & Echavarría, D. M. A. 2018. Tasas de sedimentación y características de sedimentos de fondo en tres embalses de Antioquia, Colombia. *Ingeniería del agua*, 22(4), 177. <https://doi.org/10.4995/ia.2018.8001>
- Morales-Ojeda, Mendoza-Martínez, Medina-Gómez, Ramirez-Ramirez, Snadoval-Gil, & Camacho-Ibar. 2019. Pastos marinos. Programa mexicano del carbono. Agenda azul y verde. Cap 8: 150 – 177 pp.
- Moscarella, M. V., GARCÍA, F., & Palacio, C. (2011). Calidad microbiológica del agua de la bahía de Santa Marta, Colombia. *Dyna*, 78(167), 132-141.
- Norman, C. 2010. Arrecifes artificiales en el mediterráneo occidental: Gestión y evaluación de su aportación a la sostenibilidad pesquera. [Tesis doctoral/Universidad de Granada]. 367 p.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. 2003. Directrices para ambientes de aguas recreativas seguras. Costa y aguas frescas. Vol. 1. Ginebra. 219 p

- OSPAR. 2010. Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area. London. 84 p. https://www.ospar.org/ospar-data/10-02e_beachlitter%20guideline_english%20only.pdf. ISBN 9036319739.
- Páez Correa, C. 2015. Análisis de las dimensiones del desarrollo sostenible en la ciénaga de mallorquín.
- Padilla Barrios, J. 2019. Análisis de las condiciones para el desarrollo de un programa de ecoturismo comunitario en la ciénaga de Mallorquín barrio La Playa Barranquilla-Atlántico.
- Pardo-Trujillo, A., Cardona, A., Giraldo, A.S., León, S., Vallejo, D.F., Trejos-Tamayo, R., Plata, A., Ceballos, J., Echeverri, S., and Barbosa-Espitia, A. 2020. Sedimentary record of the Cretaceous–Paleocene arc–continent collision in the northwestern Colombian Andes: Insights from stratigraphic and provenance constraints: *Sedimentary Geology*, v. 401, p. 105627.
- Pindell, J.L., and Kennan, L., 2009. Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: an update: *Geological Society, London, Special Publications*, v. 328, p. 1–55.
- Pimienta, E. 2022. Caracterización de los residuos sólidos e impactos de las actividades antropogenicas como fuentes generadoras en playas de la costa noroeste del departamento de la Guajira. Tesis de maestría, Universidad del Norte. Barranquilla. 89 p.
- Posada, P y Henao, W. 2008. Diagnostico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. INVEMAR. Serie publicaciones especiales No. 13. Santa Marta. 200 p.
- Quintero, D. I., Azarevich, V. L. de, Ferreira, S. E., Rovere, A. E., Espinoza, P. C., Sulbelza, C. R., Quintero, D. I., Azarevich, V. L. de, Ferreira, S. E., Rovere, A. E., Espinoza, P. C., & Sulbelza, C. R. 2021. Análisis granulométrico de sedimentos y dinámica fluvial en la cuenca del río Lorohuasi (Cafayate, Salta). *Serie correlación geológica*, 37(1), 19-48.
- Rangel-Buitrago, N., Gracia, A. and Neal, W. 2023. Dune ecosystems along the central Caribbean coast of Colombia: Evolution, human influences, and conservation challenges. *Ocean & Coastal Management*, 243: 106767. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106767>.
- R Core Team. 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- Ricaurte-Villota, C. O. Coca-Domínguez, D.F. Morales, M. Bejarano-Espinosa, K. Castro-Ramírez, F. Briceño-Zuluaga, C. García-Llano, J.S. Ponce-Bastidas, A. Ordóñez-Zúñiga, M. Bastidas-Salamanca. 2018. Avances en el conocimiento y lineamientos para el control de la erosión

- en la zona costera del departamento de Córdoba. Informe técnico final. Convenio de Cooperación CVS-INVEMAR 022-18. Programa Geociencias Marinas y Costeras. 99 pp.
- Ritchie, H., Samborska, V., & Roser, M. 2023. Plastic Pollution. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- Rivillas-Ospina, G. D., Ruiz-Martinez, G., Silva, R., Mendoza, E., Pacheco, C., Acuña, G., ... & Pinilla, C. 2017. Physical and morphological changes to wetlands induced by coastal structures. Coastal wetlands: Alteration and remediation, 275-315.
- Rondón, E., Szantó, M., Pacheco, J., Contreras, E. y Gálvez, A. 2016. Guía para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Manuales de la CEPAL. 2. 211 p.
- Romero-Aguilar, M., Colin-Cruz, A., Sanchez-Salinas, E y Ortiz-Hernandez, Ma. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de carga orgánica. Rev. Int. Contam. Ambient [online]. 25 (3): 157-167.
- Ruano, D. 2017. Análisis de la variación espacio-temporal de la pluma de sedimentos del río Magdalena. [Trabajo de maestría/ Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. 72 p.
- Sánchez-Moreno, H., Bolívar-Anillo, H. J., Villate-Daza, D. A., Escobar-Olaya, G., & Anfuso, G. 2019. Influencia de los impactos antrópicos sobre la evolución del bosque de manglar en Puerto Colombia (Mar Caribe colombiano). Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 15(1), 01-16.
- Short, F y Wyllie-Echeverria, S. 1996. Natural and human-induced disturbance of seagrasses. Environmental Conservation 23 (1): 17 – 27.
- Sorolla, A., Mota, B., Rueda, I y Sorolla, G. 2019. Soluciones basadas en la Naturaleza (NBS) como una nueva manera inteligente de gestionar el urbanismo y la ingeniería clásica. Operandum, naturaleza. 16 p.
- Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. (1972) A Practical Hand Book of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada Bulletin 157, 2nd Edition, 310 p.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios Superservicios. 2020. Informe nacional de coberturas de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo. 61 pp.
- Suárez, N y Podvin, K. 2023. Documento de Lectura Módulo 1: Introducción a las Soluciones basadas en la Naturaleza y Adaptación basada en Ecosistemas. Curso Virtual Soluciones basadas en la Naturaleza para el desarrollo sostenible y resiliente en Colombia. Gland, Suiza: UICN y Bogotá, Colombia: Minambiente. 32 p.
- Teutii-Hernández, C., Herrera-Silveira, J. A., Cisneros-de-la Cruz, D. J., & Roman-Cuesta, R. (2020). Guía para la restauración ecológica de manglares: Lecciones aprendidas. SWAMP. 48 p.

- Toro, J. Martinez, R. Arrieta, G. 2013. Métodos de evaluación de impacto ambiental en Colombia. Rev. Investigación agraria y ambiental. 4:43 – 53.
- Torres Marchena, C. 2015. Aplicación del modelo numérico Mohid para el estudio hidrodinámico y de transporte de la Ciénaga Mallorquín.
- 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, 161–179.
- Tous-Herazo, G., Castro Mercado, I. F., Cañón Páez, M. L., Quintana Saavedra, D. M., & Torres Parra, R. R. (2007). Panorama de la contaminación del Caribe colombiano.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan. 2009. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0- An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.
- UNESCO. 1984. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. Manuales y guías No. 13 de la COI. 87 p.
- 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.
- Vargas, O., Díaz, J., Reyes, S. y Gómez, P. 2012. Guías técnicas para la restauración ecológica de los ecosistemas de Colombia. Grupo de restauración ecológica. Greunal. Bogotá. 128 p.
- Viloria-Villegas, M. I., Cadavid, L., y Awad, G. 2018. Metodología para evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura en Colombia. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 28(2), 121–156 p.
- Vivas-Aguas, L.J., K. Ibarra, J. Sánchez, M. Martinez, Y. Nieto, Y. Moreno, I. Cuadrado, P. Obando, O. Garcés-Ordóñez, D. Sánchez, M. Villarraga y O. Sierra. 2015. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones del Invemar No. 4 (2015). Informe Técnico REDCAM 2014, INVEMAR, Santa Marta. 320 p.
- Vivas-Aguas, L.J., Obando-Madera P.S., Córdoba-Meza T.L., Castillo-Viana M.J., Espinosa L.F., Arriaga-Rodríguez A.M., Acosta-Rivera, J.A. 2022. Boletín estadístico Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras – ICAM. Reporte año 2021. INVEMAR. Santa Marta. 28 p.

- Vivas-aguas J., Castillo Viana M., Obando-Madera P.S. 2022a. Ficha Metodológica Índice de Calidad de aguas marinas y costeras ICAM. Versión 5. Santa Marta D.T.C.H., Colombia. 14
- Vela, C y Busto, E. 2022. Soluciones Basadas en la Naturaleza Para el Agua En cooperación al desarrollo. ONGAWA, Ingeniería para el desarrollo humano. 94 p.
- Vega, C., Gallejo, J. y Vidal, C. 2022. Manual de restauración de dunas costeras. Ministerio de Medio Ambiente. ISBN-13: 978-84-8320-409-2. 258 p.
- Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., y Turner, I. L. 2019. CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling y Software*, 122, 104528.
- Cerchiello, G. (2018). La sostenibilidad de la náutica de recreo. Estudio de caso del fondeo de las embarcaciones en Jávea (Alicante). *Investigaciones Turísticas*, (16), 165–195. <https://doi.org/10.14198/INTURI2018.16.09>
- Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.
- Wright, S., Thompson, R., Galloway, T., 2013. The physical impact of microplastics on marine organisms: a re-view. *Environ. Pollut.* 178, 483-492. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.02.031
- 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.

8 ANEXOS

Anexo 1. Plan de muestreo REDCAM Atlántico de salidas de campo 25 al 27 septiembre 2023

Anexo 2. Reporte de datos basura marina en arena playa Atlántico 2023.

Anexo 3. Reporte de datos microplásticos en arena playa Atlántico 2023.

Anexo 4. Reporte de datos LABCAM Atlántico de la salida de campo realizada en septiembre 2023.

Anexo 5. DGI-SCI-CAM 0998 Invitación Curso REDCAM 2023

Anexo 6. DGI-SCI-GEZ-CAM-1392 Resultados Curso REDCAM 2023

Anexo 7. Matriz de Evaluación de impacto

Anexo 8. Formato encuesta Diagnóstico del ecosistema de pastos marinos en Puerto Velero

Anexo 9. Memoria de talleres con la comunidad e instituciones

Anexo 10. Memoria de espacio de sensibilización con instituciones educativas