



invemar

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés"
Vinculado al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Diagnóstico y evaluación de la *Calidad de las Aguas Marinas y Costeras* del Caribe y Pacífico colombiano **2023** Informe Técnico



LEYENDA

● Estaciones REDCAM



Serie de publicaciones periódicas
Número 4
Enero 2024

Santa Marta - Colombia
ISSN: 2389-8615

Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico colombianos

Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM



NODOS DE LA REDCAM



Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina



DIRECTIVOS INVEMAR

Director General

Francisco A. Arias Isaza

Subdirector Coordinación Científica (SCI)

Jesús Antonio Garay Tinoco

Subdirectora Administrativa (SRA)

Sandra Rincón Cabal

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

Paula Cristina Sierra Correa

Coordinador del Programa Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)

David Alonso Carvajal

Coordinadora del Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)

Luisa Fernanda Espinosa

Coordinadora del Programa de Geociencias Marinas y Costeras (GEO)

Constanza Ricaurte Villota

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

Mario Rueda Hernández

Coordinador Servicios Científicos (CSC)

Juan Carlos Márquez Hoyos

EQUIPO TÉCNICO REDCAM DEL INVEMAR

LUISA FERNANDA ESPINOSA DÍAZ

Coordinadora del Programa CAM y de la REDCAM

PAOLA SOFÍA OBANDO MADERA

Jefe de Línea Evaluación y Seguimiento de la Calidad Ambiental Marina (ESC) y responsable de la REDCAM

JOSE FRANCISCO AVILA CUSBA

Investigador científico Línea ESC – Programa CAM

CARLOS ANDRÉS PACHECHO VELEZ

Investigador científico Línea ESC – Programa CAM

JUAN FERNANDO SALDARRIAGA VELEZ

Investigador científico Línea ESC – Programa CAM

KAREN PATRICIA IBARRA GUTIÉRREZ

Investigadora científica Línea ESC – Programa CAM

JAIR JOSE VALDÉS CARRASCAL

Auxiliar de investigación Línea ESC – Programa CAM

Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM):

Cesar Bernal, Leydy Alarcón, Yurley Tatiana Zapata, Olga Díaz, Alvaro robles, Halbin Serrano, Gustavo Lara y Kelvin Varela.

Laboratorio de Servicios de Información (LABSIS):

Jhonny Garces, Leonardo Arias, Janneth Beltrán, Diana Romero y Felipe Valencia.

ENTIDADES PARTICIPANTES

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - MINAMBIENTE

CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA – CORALINA

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LA GUAJIRA – CORPOGUAJIRA

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL MAGDALENA – CORPAMAG

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO– C.R.A.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE – CARDIQUE

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SUCRE - CARSUCRE

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LOS VALLES DEL SINÚ Y SAN JORGE – CVS

CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE URABÁ- CORPOURABÁ

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL CHOCÓ – CODECHOCÓ

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA - CVC

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA -CRC

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO – CORPONARIÑO

Citar informe completo como:

INVEMAR. 2024. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Cusba, J, Obando, P y Espinosa, L (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico final 2023, Santa Marta. 177 p.

Citar capítulo como:

Autores. 2024. Título. Intervalo de páginas. En: INVEMAR. 2023. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. José Cusba, Paola Obando y Luisa Espinosa (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico final 2023. Santa Marta. 177 p

Edición de imagen:

Angie Alejandra Ramírez Niño – CMC INVEMAR

EQUIPO TÉCNICO DE LOS MIEMBROS DE LA REDCAM

MINAMBIENTE - DIRECCIÓN DE ASUNTOS MARINOS, COSTEROS Y RECURSOS ACUÁTICOS

Erick Castro- Director Técnico
 Ana Arriaga R. - Coordinadora de Riesgo, información y participación
 Martha Arteaga Díaz – Profesional especializado
 Jorge Acosta Rivera - Contratista

CORALINA

Gilberto Myles- Subdirector de Mares y Costas
 Nacor Bolaños- Coordinador de Áreas Marinas Protegidas
 Cindy Fortune – Coordinador de Laboratorio de Calidad Ambiental
 Gilleann Taylor – Microbióloga y bioanalista
 Olga Queeman – Administradora Ambiental y recursos naturales

CORPOGUAJIRA

Jaiker Gómez Sierra – Coordinador Laboratorio Ambiental
 Lianis Charry Molina– Responsable Calidad Laboratorio
 Melany Merlano Díaz – Analista
 Victoria Caballero Romero – Analista

CORPAMAG

Alfredo Martínez – Subdirector de Gestión Ambiental
 Jorge Torregraza – Profesional Especializado
 Clara Bornachera – Contratista

C.R.A.

Efraín Leal Puccini – Profesional Especializado G18
 Geinny Vasquez - Profesional Especializado

CARDIQUE

Mady Carolina García – Jefe de Oficina Laboratorio
 Ildelfonso Castro – Profesional Especializado
 Manuel Ricardo Hernández – Profesional Universitario
 Adrian Guerra Benedetti – Profesional Universitario
 Carlos Agamez Salvador – Profesional Universitario
 Jynna Fernanda Ruiz Forero – Profesional Universitario
 Ketty Duran Buendía – Profesional Universitario
 Adriana Gonzalez Paredes – Profesional Universitario
 Federico Romero Prada – Profesional Universitario
 Genci Rodríguez Villa – Profesional Universitario
 Maritza Arana Delgadillo – Profesional Universitario
 Alexander Estrada Duque – Profesional Universitario
 Viviana Pascuales Vega – Profesional Universitario

CARSUCRE

Tulio Rafael Ruiz Álvarez – Director Técnico de Laboratorio
 Liceth Margarita Herrera Benavides – Coordinador de Sistema de Gestión

CVS

Albeiro Arrieta López – Subdirector Gestión Ambiental
 Rafael Espinosa Forero – Área de Seguimiento Ambiental
 María Luisa Sánchez Banda – Profesional Universitario
 Domingo Montalvo Sotelo – Profesional Universitario

CORPOURABÁ

Kelis Hinestroza – Subdirectora de Gestión y Administración Ambiental
 Roy Velez Hernandez - Coordinador Territorial Caribe
 Lucas Eduardo Pérez- Ecólogo Unidad Ambiental Costera
 Jonny Hernández – Oceanógrafo Unidad Ambiental Costera.
 Daniel Flórez – Coordinador Laboratorio de Aguas
 Diana Cuervo Paternina – Ingeniera Química Laboratorio de Aguas
 Adelaida Pastrana – Responsable área Microbiología

CODECHOCÓ

Harry Escobar Mosquera – Subdirector de Calidad y Control Ambiental
 Alexis Castro Arriaga – Coordinador Laboratorio de aguas
 Danny Palomeque Largacha – Analista laboratorio

CVC

Luisa Marina Baena Álvarez – Coordinadora Laboratorio Ambiental
 Erwin Jair Millan Sandoval – Profesional Especializado
 Lina Alejandra Veitia Guzman – Profesional Universitario
 Sheyla Mairelis Orozco Rodríguez – Profesional Universitario
 Luz Ley Camargo Gomez – Microbióloga, Contratista
 Carolina López Charry – Analista
 Bryan Alexander Villa Sanchez - Analista
 Wilson Neiber Grajales Gomez – Analista
 Nancy Sanchez Trujillo - Analista
 Líber Ernesto Carabalí Peña– Técnico Operativo
 James Larrahondo Posú – Técnico Operativo
 Jorge Leonardo Bolaños Herrera- Técnico Operativo
 Leonardo Vergara Patiño – Técnico Operativo
 Richard Armando Michileno Orobio – Técnico Operativo

CRC

Jonier Bolaños – Subdirector de Gestión Ambiental
 Bibiana Duarte – Profesional especializado
 Diego Zuluaga Vera – Profesional especializado
 Jaime Mauricio Vidal Llantén – Operario calificado

CORPONARIÑO

Marcela Caviedes C. – Profesional Universitario



AUTORES POR CAPÍTULO

Capítulo: INTRODUCCIÓN, ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera - INVEMAR

Capítulo: FUENTES DE CONTAMINACIÓN

José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz- INVEMAR

Capítulo: ANÁLISIS NACIONAL DE LA CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS

Juan Fernando Saldarriaga Vélez- INVEMAR
Carlos Andrés Pacheco Vélez- INVEMAR
José Francisco Avila Cusba- INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA

José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera- INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA

Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera- INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE MAGDALENA

Carlos Andrés Pacheco Vélez - INVEMAR
José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Laura Paola Fragozo Velázquez
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO

Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR

Carlos Andrés Pacheco Vélez - INVEMAR
José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE SUCRE

Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR
José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera - INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Laura Paola Fragozo Velázquez
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE CHOCÓ

Carlos Andrés Pacheco Vélez - INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE VALLE DEL CAUCA

José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Carlos Andrés Pacheco Vélez - INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE CAUCA

Carlos Andrés Pacheco Vélez - INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera- INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz - INVEMAR

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. ÁREA DE ESTUDIO	8
3. METODOLOGÍA.....	9
4. FUENTES DE CONTAMINACIÓN.....	16
5. ANÁLISIS NACIONAL DE LA CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS.....	21
6. ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA	31
7. LA GUAJIRA	40
8. MAGDALENA	55
9. ATLÁNTICO	71
10. BOLÍVAR.....	89
11. SUCRE.....	100
12. CÓRDOBA	111
13. ANTIOQUIA	124
14. CHOCÓ	134
15. VALLE DEL CAUCA	145
16. CAUCA	158
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	166
BIBLIOGRAFÍA	167



Ambiente



COLOMBIA
POTENCIA DE LA
VIDA



Colombia 50% Mar
INVAMAR
Instituto de Investigación de Recursos Acuáticos

coralina
Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago
de San Andrés, Providencia y Santa Catalina



Corponariño
Conserva la vida



1. INTRODUCCIÓN

Con el propósito de vigilar la calidad ambiental de los ecosistemas marinos y costeros del Caribe y Pacífico colombianos, y hacer seguimiento a las actividades y fuentes de contaminación que los afectan, desde el año 2001 se creó la "Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (REDCAM)", un programa nacional de cooperación interinstitucional para el monitoreo ambiental marino, coordinado por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), con la participación de las 12 corporaciones autónomas regionales con injerencia marina, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, C.R.A., CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO, y apoyada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). La REDCAM tiene como objetivo principal Contribuir con las bases científicas sobre la calidad ambiental marino costera de Colombia, así como mantener una red de vigilancia que comprenda la franja marino-costera. La información generada contribuye a definir las políticas y acciones del país para el manejo integrado y aprovechamiento sostenible de sus aguas, sedimentos y recursos naturales asociados.

La REDCAM cuenta con aproximadamente 360 estaciones de muestreo distribuidas en la zona costera del Caribe y Pacífico colombianos. Tras 22 años de funcionamiento ininterrumpido, desde el año 2001 hasta la actualidad, se han recopilado más de 600,000 registros relacionados con la calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia.

El presente informe técnico contiene el diagnóstico de calidad de aguas marinas y costeras en las estaciones REDCAM de 11 de los 12 departamentos costeros, definida mediante el índice de calidad de aguas marinas y costeras - ICAM, distribuidas en Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia, Chocó, Valle del Cauca y Cauca. Adicionalmente se presenta una actualización de los registros de fuentes de contaminación en las zonas costeras del país, con el fin de conocer la relación de las actividades antrópicas y los resultados de calidad de agua del territorio. Adicionalmente, se presenta el análisis de microplásticos y basura marina en playas turísticas.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La REDCAM cuenta con aproximadamente 360 estaciones distribuidas a lo largo de los 12 departamentos costeros de Colombia. Durante el año 2023, se monitoreó un total de 299 estaciones: 213 localizadas en la región Caribe, cubriendo la zona marina y costera de los departamentos San Andrés, Providencia y Santa Catalina, La Guajira, Magdalena, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia; y 86 estaciones en la región Pacífico, en los departamentos de Chocó, Valle del Cauca y Cauca (Figura 1).

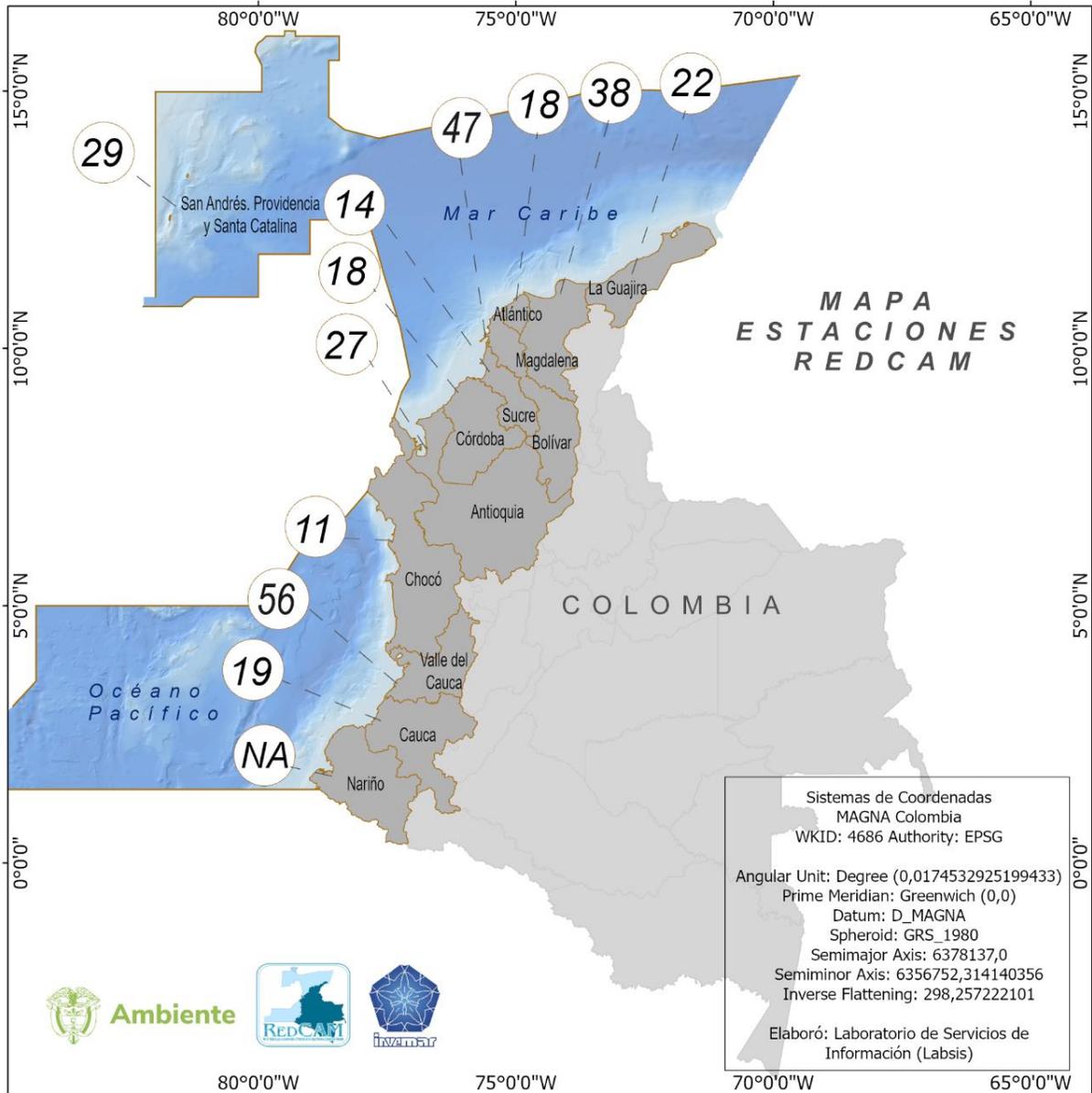


Figura 1. Mapa con la cantidad de estaciones monitoreadas por la REDCAM en el año 2023, en las costas del Caribe y del Pacífico colombianos.

3. METODOLOGÍA

Los muestreos en los departamentos de Magdalena, Atlántico, Córdoba, Chocó y Cauca, fueron realizados por personal del INVEMAR, con el respaldo de las Corporaciones (Figura 2); en la zona norte de La Guajira, el muestreo fue realizado por personal de CORPOGUAJIRA. En los departamentos de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Bolívar, Antioquia y Valle del Cauca, los muestreos fueron llevados a cabo por el personal de las Corporaciones, aprovechando la capacidad técnica de sus laboratorios para realizar análisis de manera autónoma.

En todas las estaciones de muestreo se midieron las variables in situ, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, utilizando equipos portátiles previamente calibrados (Tabla 1). Además, se recolectaron muestras de agua superficial para analizar variables fisicoquímicas, microbiológicas, contaminantes orgánicos (hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de Criseno, plaguicidas organoclorados y organofosforados) en laboratorio (Tabla 1).

Los análisis de las muestras tomadas en 2023, se realizaron en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR siguiendo las metodologías estandarizadas para las variables de calidad de aguas (Tabla 2) y acorde a los procedimientos de muestreo del manual técnicas ([Garay et al., 2003](#)) y las recomendaciones del Standard Methods ([APHA et al., 2017](#)). Los análisis de las muestras recopiladas por CORPOGUAJIRA, CARDIQUE y CVC se realizaron en sus respectivos laboratorios, teniendo en cuenta sus procedimientos internos (Tabla 3; Tabla 4).



Figura 2. Toma de datos in situ y colecta de muestras de agua en las estaciones REDCAM

Tabla 1. Variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial de las estaciones de muestreo

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
Fisicoquímicos	Salinidad	Electrométrico		APHA <i>et al.</i> , 2017 (SM 2520-B)
	Conductividad	Electrométrico	mS/cm	APHA <i>et al.</i> , 2017 (SM 2520-B)
	pH	Potenciométrico	Unidad	APHA <i>et al.</i> , 2017 (SM 4500-H B)
	Oxígeno disuelto	Óptico por luminiscencia	mg/L	ISO 17289:2014
	Temperatura (A)	Termocupla acoplada a sonda	°C	APHA <i>et al.</i> , 2017 (SM 2550 B)
	Transparencia Secchi	Disco Secchi	m	Garay, J. 2003

Tabla 2. Parámetros y metodologías utilizadas en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INEMAR para las muestras de la REDCAM.

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
Fisicoquímicos	Sólidos Suspendidos Totales	Gravimetría	mg/L	APHA <i>et al.</i> , 2017 (SM 2540-D)
	Amonio, Nitritos, Nitratos, Fosfatos	Colorimetría	µg/L	Strickland y Parsons, 1972
	Silicato	Colorimetría	µg/L	MANUAL UNESCO/COI:1983 12.
	COT (agua)	Combustión elemental	mg/L	APHA <i>et al.</i> , 2017 (SM 5310 B)
	Fósforo total	Colorimetría	µg/L	APHA <i>et al.</i> , 2017 (SM 4500-P B modificado), Strickland Y Parsons, 1972
	Turbidez	Nefelometría	NTU	APHA <i>et al.</i> , 2017 (SM 2130 B)
	Clorofila a	Método tricromático por Espectrofotometría	µg/L	APHA <i>et al.</i> , 2017 (SM 10200 H)
Hidrocarburos	Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de Criseno	Extracción líquido-líquido con diclorometano y determinación fluorométrica.	µg/L	MANUAL UNESCO/COI:1984 N°13.
Microbiológicos	Coliformes Totales	Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL	APHA <i>et al.</i> , 2017 (SM 9221 B)
	Coliformes Termotolerantes	Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL	APHA <i>et al.</i> , 2017 (SM 9221 E)
	Enterococos	Filtración por membrana	UFC/ 100 mL	ISO 7899:2:2000

Tabla 3. Parámetros y metodologías utilizadas en el Laboratorio Ambiental de CORPOGUAJIRA para las muestras de la REDCAM.

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida
Fisicoquímicas	Conductividad	SM 2510 B, Electrométrico	μS/cm
	Oxígeno disuelto	SM 4500-O G, Electrométrico	mg/L
	Potencial REDOX	Electrométrico	mV
	pH	SM 4500-H+ B, Electrométrico	Unidades
	Salinidad	SM 2520 B, Electrométrico	g/L
	Saturación de oxígeno	Electrométrico	%
	Temperatura	SM 2550 B, Electrométrico	°C
	Color aparente	SM 2120 C, Espectrofotométrico	Pt-Co
	Turbiedad	SM 2130 B, Nefelométrico	NTU
	Sólidos suspendidos totales	SM 2540 D, Gravimétrico, secado a 104° C±1°C	mg/L
Microbiológicos	Coliformes Totales	SM 9221 B, Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL
	Coliformes Termotolerantes	SM 9221 B, E, Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL
	Enterococos Fecales, E. coli	SM 9230 C, Filtración por membrana	UFC/ 100 mL

Tabla 4. Parámetros y metodologías utilizadas en el laboratorio de CARDIQUE para las muestras de la REDCAM.

Matriz	Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	
Agua	Fisicoquímicos	Salinidad	S.M 2520-B	-	
		Conductividad	S.M. 2510-B	mS/cm	
		pH	S.M 4500-H-B	Unidad	
		Oxígeno disuelto	S.M 4500-O-H	mg/L	
		% Saturación de O ₂	S.M 4500-O-H	%	
		Temperatura	S.M 2550-B	°C	
		SST	S.M. 2540-D	mg/L	
		Turbidez	S.M. 2130-B	NTU	
		DBO ₅	S.M. 5210-B; 4500-O-H	mgO ₂ /L	
		Nitratos	S.M. 4500-NO ₃ -E	mg NO ₃ -N/L	
		Nitritos	S.M. 4500-NO ₂ -B	mg NO ₂ -N/L	
		Fósforo Reactivo Disuelto	S.M. 2500-P-E	mgP/L	
		Microbiológicos	Coliformes Totales	Tubos múltiples	NMP/100 mL
			Coliformes Fecales	Tubos múltiples	NMP/100 mL

Aplicación del Índice de Calidad del agua marina y costera - ICAM

Con el objetivo de evaluar la calidad del agua marina y estuarina, se calculó el Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras para la preservación de flora y fauna (ICAM). Este índice es una herramienta que permite analizar la tendencia y las variaciones de la calidad del agua marina y estuarina, para lo cual se han definido las variables de acuerdo al tipo de agua (Tabla 5), integrando la información de ocho variables mediante una ecuación de promedio geométrico ponderado (Ecuación 1). Estas variables representan según sus valores de aceptación o rechazo una calidad o condición del agua en función de los criterios de calidad nacionales o valores de referencia internacionales para la preservación de la flora y fauna ([Vivas-Aguas, 2011](#); [Vivas-Aguas et al., 2017](#)).

Tabla 5. 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 (N-NO ₃ ⁻)	3. Nitratos (N-NO ₃ ⁻)
4. Ortofosfatos (P-PO ₄)	4. Ortofosfatos (P-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 a)

Con los valores de cada variable, se aplican las curvas de calidad para obtener los subíndices que arrojan un valor adimensional, el cual se integran a través la ecuación 1, para calcular el ICAM ([Vivas_Aguas et al., 2022](#)). Información adicional sobre el proceso metodológico para el cálculo del ICAM se pueden consultar en la ficha metodológica y en el documento metodológico del ICAM, disponible en el enlace <https://icam-invemar.opendata.arcgis.com/>.

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

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 se aplicó en las estaciones que cumplían con el tipo de agua, marina o estuarina; y con el número mínimo de parámetros para su cálculo. Dependiendo del resultado de calidad del agua arrojado por el ICAM, se proponen algunas alternativas de manejo, mediante las cuales se puede reducir o mitigar el impacto sobre el ecosistema que esté siendo afectado (Tabla 6). Para mayor información, se puede consultar la hoja metodológica del indicador, la cual está disponible en el enlace <https://icam-invemar.opendata.arcgis.com/>.

Tabla 6. Escala de Valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM), y opciones de medidas que se pueden optar según la valoración del indicador ICAM (Modificado de Marín, 2001).

Escala de calidad	Categorías	Descripción	Opciones de medidas a optar
Óptima	100-90	Calidad excelente del agua.	Continuar con el monitoreo.
Adecuada	90-70	Agua con buenas condiciones para la vida acuática.	Caracterización, diagnóstico y verificación.
Aceptable	70-50	Agua que conserva buenas condiciones y pocas restricciones de uso.	Monitoreo y evaluación fisicoquímicos y tóxicos semestral.
Inadecuada	50-25	Agua que presenta muchas restricciones de uso.	Monitoreo/bioensayos/medidas de control y vigilancia. Evaluación: fisicoquímicos y tóxicos, plan de contingencia trimestral.
Pésima	25-0	Agua con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado.	Monitoreo y seguimiento /bioensayos/ evaluación: fisicoquímicos y tóxicos /plan de contingencia/ aplicación de medidas de choques trimestral.

Análisis histórico y nivel de cumplimiento de Coliformes y Enterococos

El análisis de la calidad del agua para el uso recreativo se basó en los datos históricos y el nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para las estaciones asociadas principalmente al turismo y actividades de baño. 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), teniendo en cuenta los valores de referencia para el uso recreativo del agua (CTE <200 NMP/100mL), (CTT <1000 NMP/100mL) establecidos por el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984), y (EFE <100 UFC/100mL) valor propuesto por la Directiva 2006/7/EC del Parlamento Europeo (Unión Europea, 2006). Posteriormente fue calculado el porcentaje de cumplimiento por estación y año (Ecuación 2).

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 por rangos porcentuales (Tabla 7). Los porcentajes de concentración fueron representados en un mapa de calor usando la librería ggplot2 (Wikcham, 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 $\log(x+1)$ y llevadas a un diagrama boxplot para representar la distribución de los datos.

Tabla 7. Escala 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).

Análisis de microplásticos y basura marina en playas turísticas

Las muestras de microplásticos y basura marina se caracterizaron y analizaron de acuerdo con la metodología usada por INVEMAR. En cada playa, en la línea de más alta marea, se estableció un transecto compuesto por cinco cuadrantes de 3 x 3 metros para el muestreo de macrobasuras y cinco sub-cuadrantes de 0,5 x 0,5 metros para el muestreo de microplásticos. En cada cuadrante, se recolectó la basura que se encontró en la superficie de la arena y en cada sub-cuadrante, se recolectó la arena de los primeros centímetros de profundidad utilizando palas metálicas para realizar el análisis de microplásticos en las instalaciones del LABCAM del INVEMAR.

La caracterización y clasificación de la basura marina se realizó de acuerdo a las categorías (plástico, metal, vidrio, textil, papel-cartón y otros) propuestas por [OSPAR \(2010\)](#). Las muestras de arena de playa para microplásticos se pesaron y se secaron a una temperatura de 70°C durante 48 horas. Una vez secas, se determinó el peso seco y se tamizaron a través de tamices de 1 mm y 5 mm. Las muestras de arena de playa y sedimentos para microplásticos se filtraron con agua microfiltrada a través de tamices de 1 mm y 500 μm . El sedimento resultante fue secado a 70°C por 48 horas y se identificaron visualmente bajo el estereoscopio los microplásticos con tamaños entre 1 y 5 mm, realizando la descripción y clasificación en seis categorías: fragmento, filamento, lámina, espuma, gránulo y pellet. Las unidades para basura marina y microplásticos en sedimento se expresaron en ítem/m².

4. FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Los ambientes marinos y costeros del Caribe y Pacífico son fundamentales para la economía y cultura de las poblaciones costeras en Colombia, dado su alto valor en biodiversidad, productividad y servicios ecosistémicos ([DNP, 2020](#)). Sin embargo, la contaminación representa un factor crítico de degradación en estas áreas, derivada del inadecuado tratamiento y disposición de residuos líquidos y sólidos, así como de actividades socioeconómicas tanto en las zonas costeras como en el interior del país ([INVEMAR, 2022](#)).

En el Caribe colombiano desembocan alrededor de 43 ríos, destacando el Magdalena, Atrato, Sinú, y Ranchería, mientras que, en las costas del Pacífico, más de 56 ríos, entre ellos San Juan, Micay y Mira, contribuyen con aportes significativos ([INVEMAR, 2019a](#), [INVEMAR, 2022](#)). Estos cuerpos de agua reciben residuos de diversas actividades que contienen materia orgánica, nutrientes, hidrocarburos, plaguicidas, metales pesados, microorganismos Fecales y residuos plásticos que deterioran la calidad de las aguas y restringen sus múltiples usos ([INVEMAR, 2017](#); [INVEMAR, 2018](#)).

A continuación, se presentan las principales fuentes de contaminación identificadas en los departamentos costeros de Colombia:

San Andrés y Providencia: La actividad turística es la principal fuente de contaminación, seguida de las actividades domésticas, portuarias y pesqueras. Se evidencian vertimientos de aguas residuales y residuos sólido, y su disposición en el ambiente, las cuales contribuyen al incremento de basura marina y microplásticos ([Portz et al., 2020](#)).

La Guajira: La minería, actividades marítimas, portuarias y turísticas, junto con los residuos de la población, son las principales fuentes contaminantes. La contaminación de las zonas costeras por residuos sólidos es una problemática creciente en el departamento, como resultado del incremento del turismo y la deposición de los residuos de la población ([Pimienta-Serrano, 2022](#)).

Magdalena: Los vertimientos directos de aguas residuales, y los residuos de actividades agrícolas, pecuarias, portuarias e industriales, son las principales fuentes de contaminación. El inadecuado manejo de residuos sólidos y el turismo tradicional contribuyen a la presencia de basura marina y plásticos en las playas ([Rojas, 2021](#)). La zona urbana presenta mayor influencia de actividades antrópicas como el puerto marítimo, actividades comerciales y turísticas y vertimientos de aguas residuales a través del emisario submarino, del río Manzanares y del rebosamiento de las alcantarillas, durante la temporada de lluvias ([INVEMAR, 2020](#)). Así mismo, las actividades de tráfico marítimo aportan contaminantes que perjudican la calidad del agua ([Rodríguez-Grimón et al., 2021](#)).

Atlántico: Actividades agrícolas, turísticas, marítimas y portuarias, junto con los residuos de la población, generan contaminación. El aumento del turismo en el departamento ha ocasionado un incremento en la cantidad de residuos sólidos presentes en los ecosistemas costeros ([Rangel-Buitrago et al., 2017](#)). Además, se ha observado el vertimiento de aguas residuales no tratadas, lo que está impactando negativamente en la calidad del agua ([Moreno et al., 2019](#)).

Bolívar: Las actividades industriales y portuarias, la descarga del Canal del Dique con alta carga de sedimentos, y el crecimiento urbano y turístico, han afectado la calidad

del agua, debido a los vertimientos de aguas domésticas e industriales y vertimientos de hidrocarburos que generan contaminación en la bahía, sin dejar a un lado las actividades productivas como la pesca artesanal e industrial, el turismo y servicios portuarios. Además, el tráfico marítimo comercial, ha generado la necesidad de realizar dragados para continuar con la navegabilidad en la bahía, produciendo el aumento de materiales sedimentarios que degradan la calidad del agua ([Tosic et al., 2017](#); [Echeverry-Hernández, 2019](#); [Tosic & Resptrepo, 2023](#)).

Sucre: Se han evidenciado vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales ([Vergara-Floréz et al., 2023](#)) y actividades agrícolas. En la costa desembocan pequeños caños y arroyos, como Guacamaya, Alegría, El Francés, Guainí y Cascajo que son receptores de escorrentías provenientes de las zonas rurales y urbanizadas, de las actividades agropecuarias, industriales, marítimas y turísticas, y de las descargas domésticas de la población de los municipios costeros de San Onofre, Santiago de Tolú y Coveñas.

Córdoba: Residuos de la ganadería, agricultura, turismo, extracción de madera, cargue de petróleo, tráfico de embarcaciones y pesca son fuentes de contaminación. De igual forma, la presencia de basura marina y microplásticos como producto de la deficiente gestión de residuos domésticos, del turismo y la pesca representa una amenaza para los ecosistemas costeros del departamento ([Garcés-Ordóñez, 2022](#)). Por otra parte, en el departamento de Córdoba desemboca el río Sinú que aporta a la zona costera sedimentos y contaminantes como metales pesados y plaguicidas por actividades agrícolas ([Roqueme et al., 2014](#)).

Antioquia: Las principales fuentes de contaminación corresponden a los vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento y la inadecuada disposición de residuos sólidos, el desarrollo de la industria bananera, las actividades marítimas y portuarias, ganadería, comercio y turismo. Así mismo, el aumento de la población en la zona costera en los últimos años, especialmente en el municipio de Turbo, ha generado una costa poblada con pocos o nulos servicios públicos y de saneamiento, lo que favorece la inadecuada deposición de residuos sólidos y líquidos ([Gómez-Aguirre & Turbay, 2016](#); [Hinestrosa & Ramos, 2015](#)). Cabe destacar que en esta área se encuentra la desembocadura del río Atrato, considerado uno de los ríos más caudalosos de Colombia, el cual tiene un alto aporte de sedimentos y condiciona la hidrodinámica del golfo de Urabá ([García-Valencia, 2007](#)).

Chocó: Las principales fuentes de contaminación son los vertimientos de aguas residuales y residuos sólidos de la población costera al ambiente, la minería, el turismo, y las actividades agropecuarias y marítimas. El departamento del Chocó cuenta con diversos ríos, como el Río Baudó, Río San Juan y sus afluentes que desembocan en el Océano Pacífico, los cuales son utilizados como vertederos de residuos líquidos y sólidos ([Quesada-Martínez et al., 2014](#)), vías de comunicación fluvial entre las comunidades y sitios de desarrollo de actividades mineras ([Arriaga & Barriga, 2010](#)).

Valle del Cauca: Se evidencian vertimientos de aguas residuales y residuos sólidos de la población costera, residuos de la minería, las escorrentías agrícolas y de áreas de ganadería, y los residuos de la industria pesquera y del puerto de Buenaventura. Las actividades portuarias se destacan en el Valle del Cauca y el dragado del puerto que

genera la remoción de grandes cantidades de sedimentos y altera la concentración de sólidos suspendidos y la transparencia del agua ([DIMAR, 2012](#)).

Cauca: Las principales fuentes de contaminación son los vertimientos de aguas residuales, la inadecuada disposición de residuos sólidos municipales, los residuos de la minería de oro en la cuenca alta de los ríos Micay, Saija, Bubuey y Timbiquí, las escorrentías agrícolas, el aprovechamiento forestal, el turismo y las actividades marítimas como el transporte de embarcaciones con motor ([INVEMAR, 2018](#)).

Nariño: Las principales fuentes de contaminación están relacionadas con terminales marítimos, gasolineras, puertos, aserraderos, vertimientos de aguas residuales domésticas e inadecuada disposición de residuos sólidos. El municipio de Tumaco presenta el mayor desarrollo de actividades antrópicas; la bahía de Tumaco recibe aguas residuales sin tratamiento y además en ella desembocan los ríos Curay, Chagüi, Colorado, Tablones, Mejjicano, Rosario, Mira y Paría que aportan residuos y material en suspensión, los cuales modifican la calidad del agua. Por otro lado, el uso de residuos sólidos para rellenar terrenos inundables y para la construcción de puentes peatonales genera condiciones desfavorables para la calidad del agua, y fomenta la contaminación por basura marina en los ecosistemas y zonas costeras del departamento, siendo el plástico el principal contaminante ([Preciado-Estupiñan & Zapata-Laarenas, 2020](#)).

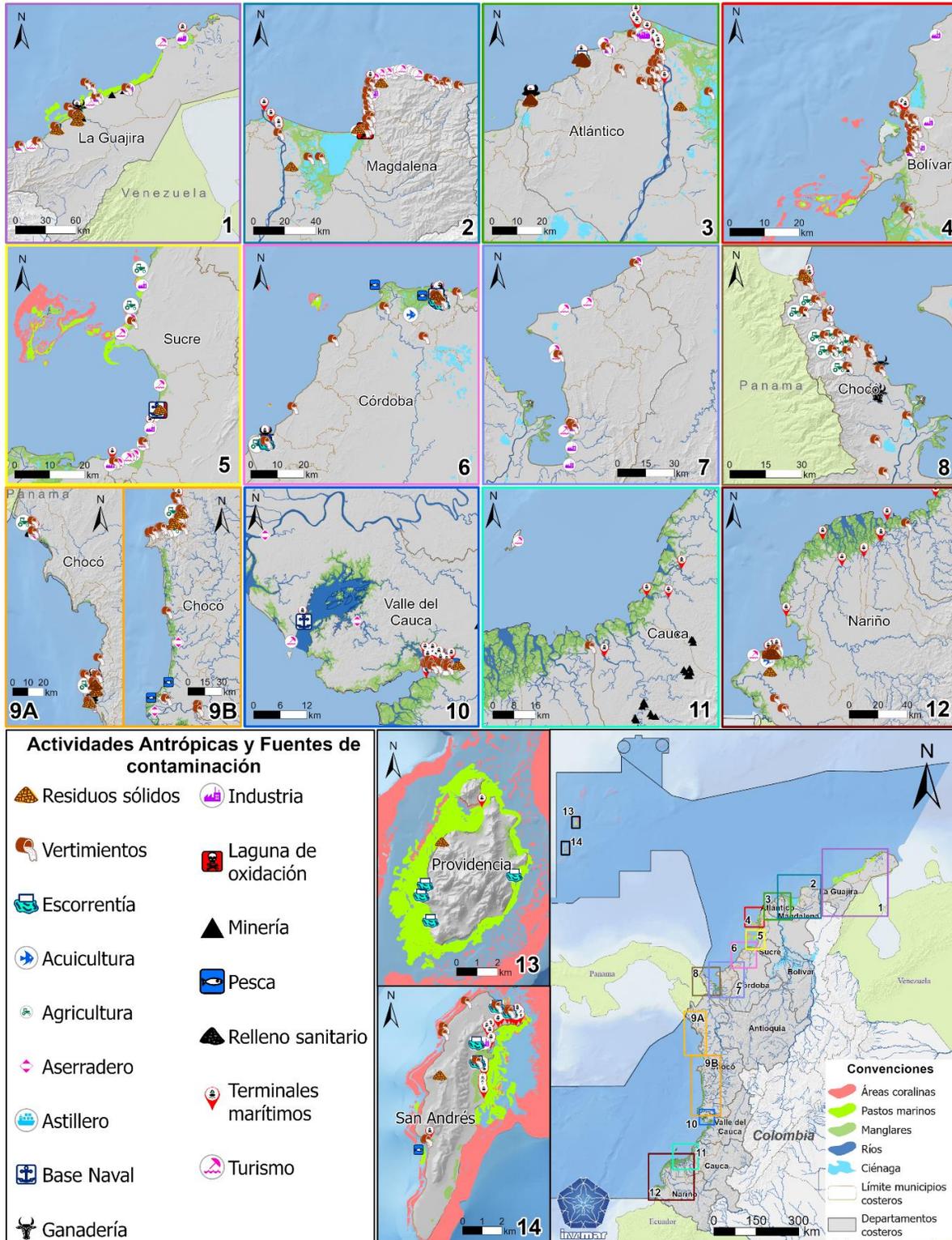


Figura 3. Principales fuentes de contaminación en la zona marino costera de Colombia.



ANÁLISIS NACIONAL DE LA CONTAMINACIÓN POR **MICROPLÁSTICOS**

Juan Fernando Saldarriaga Vélez – INVEMAR
Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR
José Francisco Avila Cusba – INVEMAR

5. ANÁLISIS NACIONAL DE LA CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS

En el año 2017, el INVEMAR con apoyo del MinAmbiente, realizó el primer diagnóstico nacional sobre la contaminación por microplásticos en zonas costeras; lo que permitió generar los primeros reportes de abundancia de microplásticos (1.000 – 5.000 μm), evidenciando que representan uno de los factores de degradación ambiental, ocasionada principalmente por el inadecuado tratamiento y manejo de residuos líquidos y sólidos, provenientes de actividades antrópicas como turismo, vertimientos de aguas residuales domésticas, actividades industriales, comerciales, entre otras; que se desarrollan tanto en las zonas costeras como al interior del país.

A partir de los esfuerzos técnicos y de cooperación interinstitucional entre las autoridades ambientales nacionales, regionales e INVEMAR, hasta el año 2023, se ha dado continuidad a la consolidación del monitoreo de basura marina y microplásticos en playas priorizadas del Caribe y Pacífico colombiana, en el marco del sistema de monitoreo REDCAM; lo cual contribuye al reporte de información para la generación de conocimiento sobre la problemática ambiental por residuos plásticos en ecosistemas marinos y costeros colombiano.

En el año 2023 se recolectaron muestras de arena de 34 playas ubicadas en 10 de los 12 departamentos marino costeros de Colombia; ocho (8) en la región Caribe (Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia) y dos (2) en la región Pacífico (Chocó y Valle del Cauca) (Figura 4).



Figura 4. Estaciones de monitoreo REDCAM de microplásticos año 2023. (INVEMAR, 2023)

Como resultado del muestreo de arena de playa del año 2023, se determinó que la abundancia de microplásticos osciló entre 3,2 y 3.706 ítems/m². En la región Caribe se registraron las mayores abundancias de microplásticos; principalmente en los departamentos de Atlántico, Magdalena y Bolívar. Las formas de microplásticos más abundantes en las playas de arena priorizadas de Colombia fueron fragmentos con un 59,67 %, seguido de espumas con un 24,88 % y pellets con un 7,69 % (Figura 5).

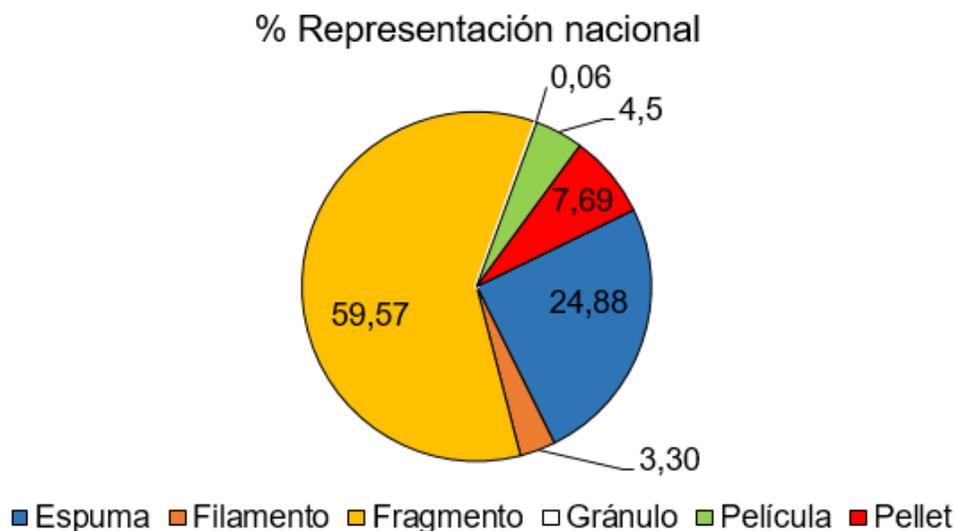


Figura 5. Proporción de los tipos de microplásticos en las muestras de arena de playa de Colombia, colectadas en el año 2023

En la región Caribe, la abundancia de microplásticos en arena de playa varió entre 3,2 y 3.706 ítems/m² (Figura 6). Durante la época lluviosa, las mayores abundancias se presentaron en la estación Playa Grande seguido de Playa Municipal, departamento del Magdalena, y Playa Los Córdoba en el departamento de Córdoba con 3.706, 270 y 185 ítems/m² respectivamente (Figura 6). Este resultado se asocia con el desarrollo de actividades antrópicas como la urbanización costera, industria turística y actividades de pesca y marítimas; así como la dinámica marino-costera y las corrientes oceánicas que pueden transportar estos contaminantes desde otros sitios (Rangel-Buitrago *et al.*, 2018; Acosta-Coley *et al.*, 2019; INVEMAR, 2023b). De igual manera, en las tres (3) playas evaluadas en La Guajira, las concentraciones de microplásticos durante la época lluviosa fueron mayores, lo cual puede estar relacionado con el aumento de los niveles de escorrentía y arrastre de sedimentos a través de ríos, arroyos y quebradas; contribuyendo así al transporte de microplásticos hacia la zona costera (Garcés-Ordóñez *et al.* 2020b).

Durante la época seca, las mayores abundancias se presentaron en la estación Punta Astillero y Playa Salgar, departamento del Atlántico, y Playa Marbella en el departamento de Bolívar con 3.658, 730 y 354 ítems/m² respectivamente (Figura 6). A pesar de que, durante esta época el arrastre de sedimentos por parte de los ríos es menor al que se presenta durante la época lluviosa (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2020b; Rangel-Buitrago *et al.*,

2018), se destaca la contribución de los aportes del río Magdalena, desde su desembocadura natural en Bocas de Ceniza y el Canal de Dique que actúan como vías de transporte de residuos sólidos provenientes de las principales ciudades de Colombia hacia las zonas costeras; así como el desarrollo de actividades antrópicas tales como comercio y turismo, industria y puertos; teniendo en cuenta el alto desarrollo industrial, turístico y urbanístico que presentan las ciudades de Cartagena y Barranquilla (Rangel-Buitrago *et al.*, 2018). Por otra parte, debido a la ausencia de una barrera natural de ecosistema de manglar a lo largo de la costa, por acción del viento y las corrientes marinas estos desechos pueden arribar a los ecosistemas de playa (Rangel-Buitrago *et al.*, 2018).

En contraste, durante la época seca las menores abundancias se reportaron en las playas del departamento de La Guajira, con concentraciones que oscilaron entre 3 y 8 ítems/m² (Figura 6). A pesar de que La Guajira cuenta con un menor desarrollo urbanístico y comercial, en relación con Bolívar y Atlántico, las playas evaluadas son atractivos turísticos por sus paisajes naturales y ubicación alejada de las zonas urbanas; lo cual contribuye a un aumento de estas actividades en el territorio. Sin embargo, factores naturales como ser una costa abierta, la fuerte influencia de las corrientes, vientos alisios y fenómenos de surgencia en el departamento, pueden contribuir a que estos contaminantes no se depositen en las playas alejándolos de la costa (Acosta-Coley *et al.* 2019).

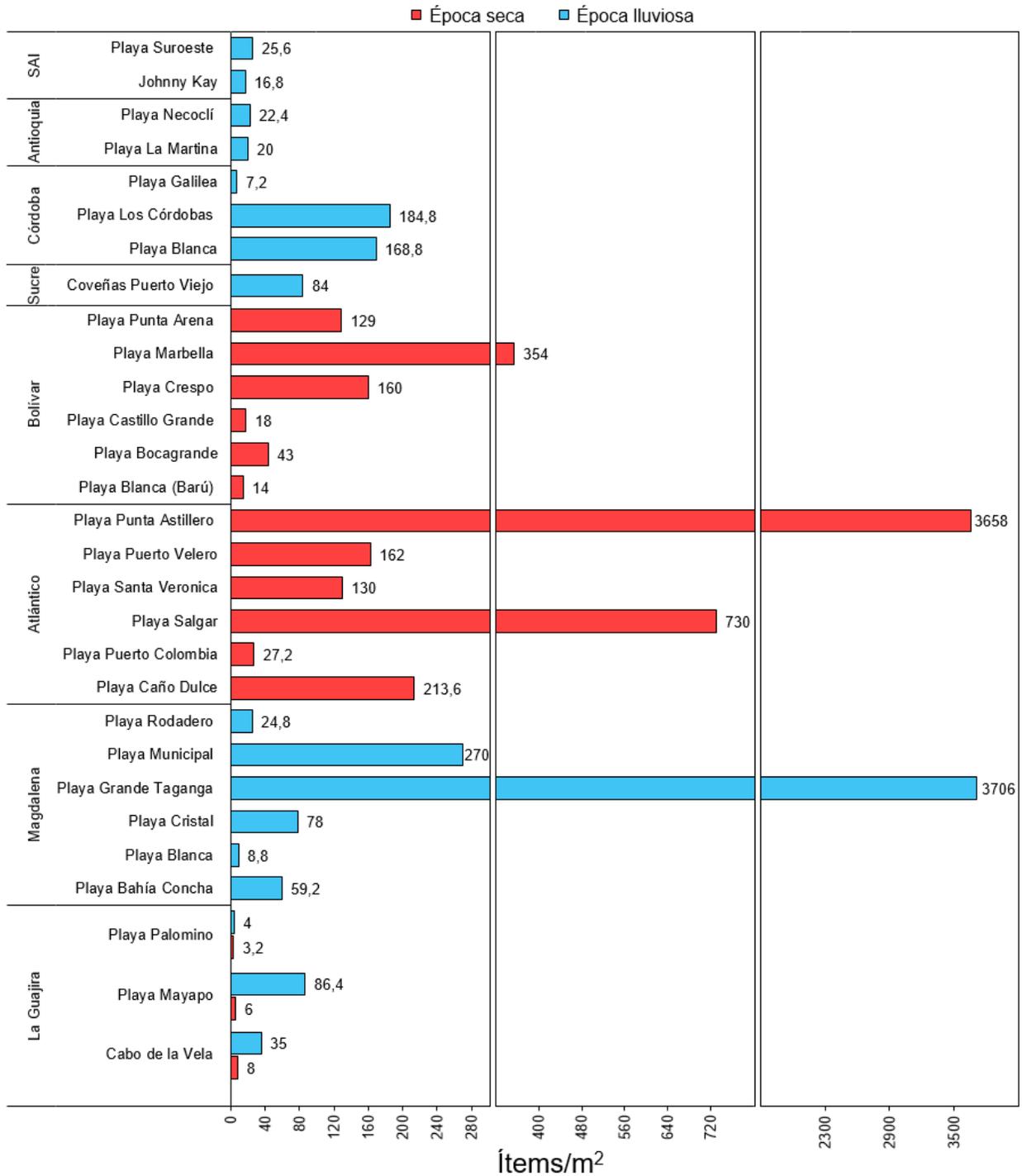


Figura 6. Abundancia de microplásticos en las playas turísticas del Caribe, registradas en los muestreos realizados en época seca y lluviosa 2023

En el Pacífico colombiano, en las playa de los departamentos de Chocó y Valle del Cauca, se reportaron abundancias de microplásticos entre 7 y 11 ítems/m² (Figura 7); registros similares a los reportadas en las playas turísticas de Galilea, Blanca (Magdalena), Palomino, Mayapo y Cabo de la Vela del Caribe colombiano (Figura 6; Figura 7). En general, en la costa Pacífico, pocas playas son frecuentadas para fines recreativos, sin embargo, la acción combinada de las corrientes, mareas, y vientos pueden contribuir al transporte y acumulación de plásticos de mayor tamaño desde las zonas urbanas y portuarias hacia las zonas rurales, donde se acumulan en la zona superior de la playa, los cuales por acción de la radiación solar se degradan lo que puede contribuir a la generación y acumulación de microplásticos ([Garcés-Ordóñez et al. 2020b](#)).

Así mismo, las malas prácticas de gestión de residuos sólidos y la baja cobertura del sistema de recolección del servicio de aseo, facilitan la introducción de basura marina y microplásticos a través de ríos que tributan en la zona costera del Pacífico ([Gobernación del Chocó, 2020](#)).

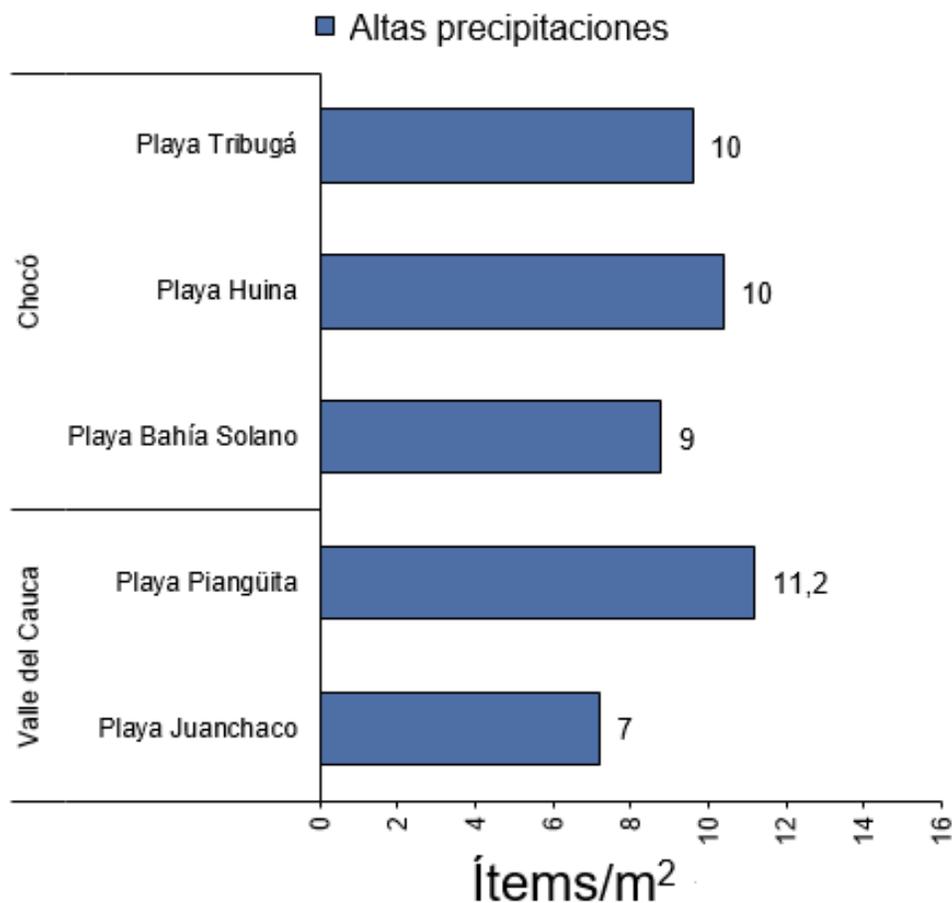


Figura 7. Abundancia de microplásticos en las playas turísticas del Caribe, registradas en los muestreos realizados en época de altas precipitaciones 2023

Al contrastar los resultados del año 2023 con los reportados en 2021 y 2022, se evidencia que hubo un aumento de las abundancias de microplásticos en playas de los departamentos de Bolívar, Magdalena y La Guajira; aunque, la mayor concentración se registró en el 2022 en la playa Punta Astilleros, con 4.267 ítems/m² (Figura 8). Para el 2023, en el departamento de Bolívar, Playa Blanca (Barú), Crespo y Marbella, las abundancias reportadas han aumentado en relación con los años 2021 y 2022 con concentraciones de 14, 160 y 364 ítems/m² respectivamente (Figura 8). En Magdalena, las playas que presentaron mayores concentraciones de microplásticos en relación con los años anteriores fueron Bahía Concha (59,2 ítems/m²), Playa Cristal (78 ítems/m²), Playa Grande Taganga (3.706 ítems/m²) y Municipal (270 ítems/m²) (Figura 8). En el departamento de La Guajira, las playas de Cabo de la Vela y Mayapo fue en las que se registraron abundancias mayores de MPs comparadas con los años 2021 y 2022, con 43 y 92 ítems/m², respectivamente (Figura 8).

Por otro lado, se destaca el aumento de la abundancia de microplásticos en playa Los Córdoba, departamento de Córdoba, pasando de 2,4 a 185 ítems/m²; y de Playa Grande Taganga, departamento del Magdalena, pasando de 238 ítems/m² en el 2022 a 3.706 ítems/m² para 2023. Esto evidencia la afectación por actividades antrópicas que se desarrollan en la zona marino-costera en la región Caribe.

A pesar de que las playas priorizadas en el departamento del Atlántico reportaron menores abundancias en el 2023, con respecto al 2021 y 2022; las abundancias registradas durante los 3 años son las mayores en comparación con los demás departamentos del Caribe colombiano. Esto puede estar asociado con los aportes de sedimentos del río Magdalena, que influye en toda la dinámica marino-costera en el departamento del Atlántico, y al manejo y disposición inadecuada de los residuos sólidos y líquidos, lo cual favorece a la dispersión de microplásticos ([INVEMAR-CRA, 2023](#))

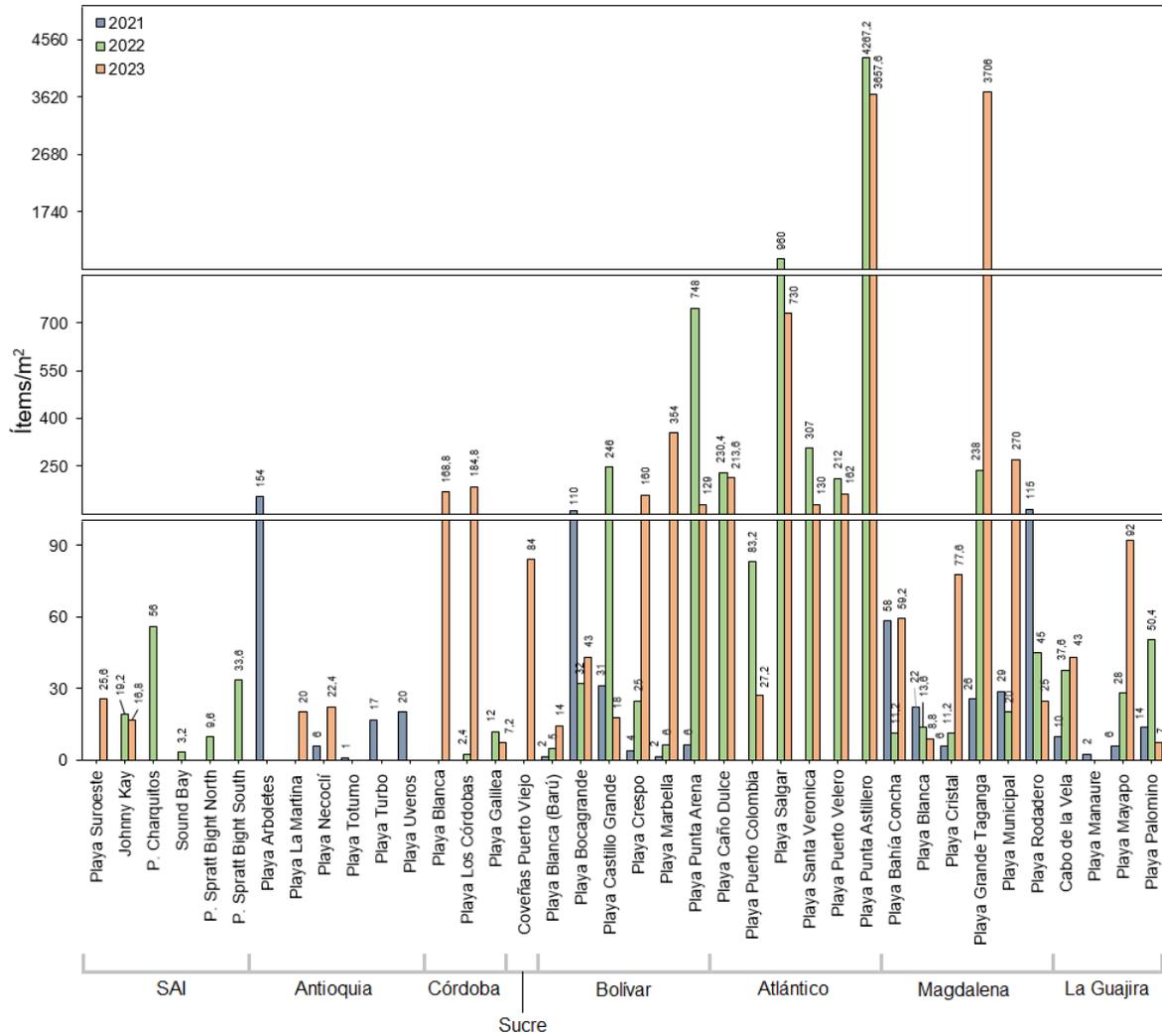


Figura 8. Abundancia de microplásticos en las playas del Caribe priorizadas, registradas en los muestreos realizados en los años 2021, 2022 y 2023.

En la región Pacífico, en las playas Tribugá en el departamento de Chocó, Juanchaco y Plangüita en Valle del Cauca y Vertimiento Gorgona en el Cauca, se observó una disminución en la concentración de microplásticos para el año 2023, respecto al 2021 y 2022 (Figura 9). En Playa Tribugá, la abundancia pasó de 860 a 10 ítems/m², en Juanchaco de 362 a 7,2 ítems/m², en Piangüita de 182 a 11,2 ítems/m² y en Vertimiento Gorgona de 25 a 2,4 ítems/m² (Figura 9).

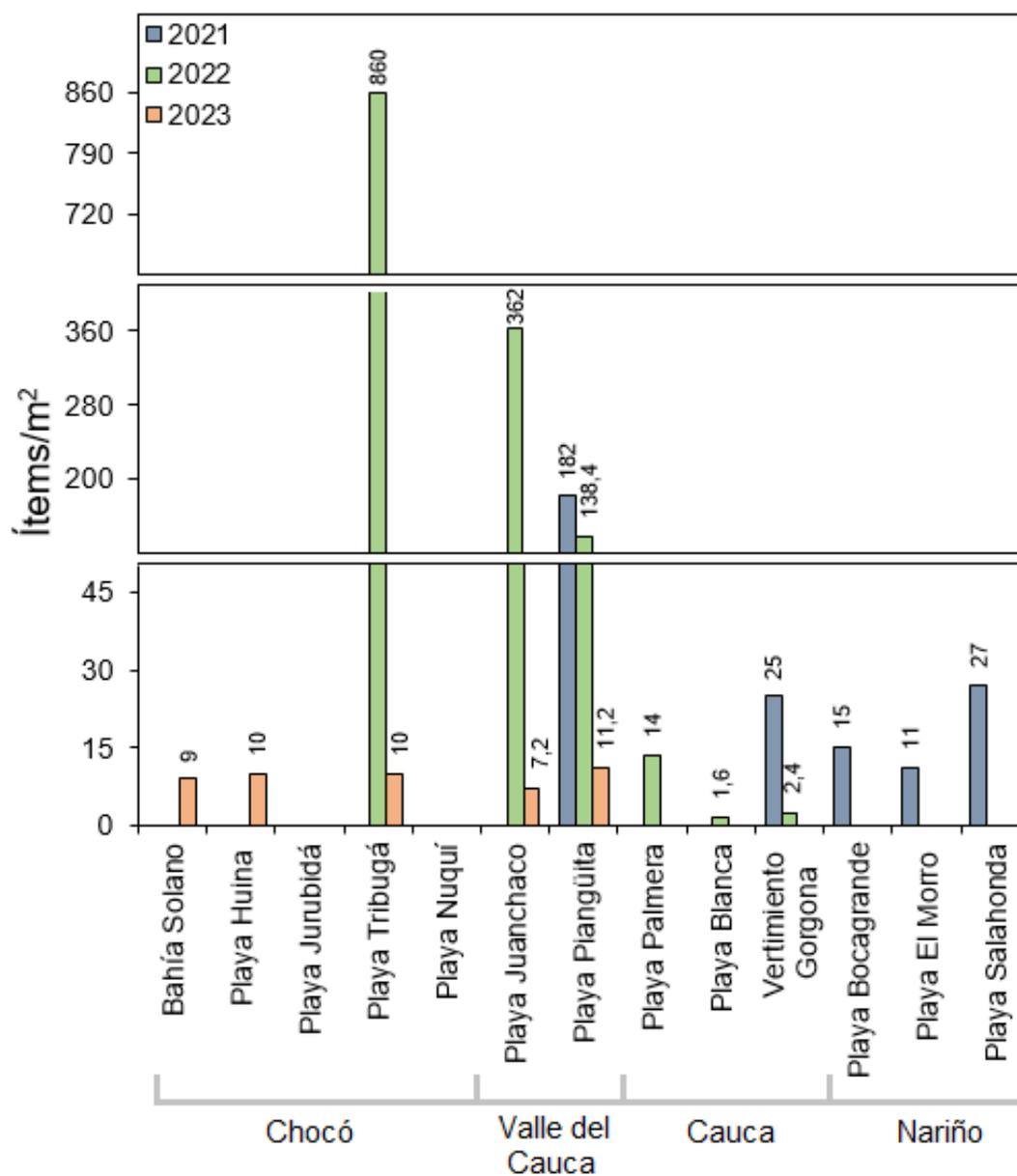


Figura 9. Abundancia de microplásticos en las playas del Pacífico priorizadas, registradas en los muestreos realizados en los años 2021, 2022 y 2023.



DEPARTAMENTO ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA

*José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR*

6. ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (SAI) está conformado por un conjunto de islas, cayos e islotes ubicados en el mar Caribe que conforman el único departamento colombiano sin territorio continental. Los ecosistemas de arrecifes de coral, pastos marinos, bosques de manglar, humedales y playa, sostienen una amplia diversidad biológica, por lo que 6.109.639 km² fueron declarados en el año 2000 Reserva de Biósfera Seaflower, y en 2005, 65.018 km² Área Marina Protegida (AMP) ([CORALINA e INVEMAR, 2012](#)). El departamento también cuenta con dos áreas protegidas, el Old Providence Mc Bean Lagoon y The Peak Regional Park ([RUNAP, 2022](#)). La mayor parte del Archipiélago presenta un modelo de desarrollo basado en el comercio y el turismo. Para el 2021 se reportó la visita de 19.844 turistas ([CITUR, 2020](#)).

Desde el año 2001, el monitoreo de la calidad del agua marina y costera en el departamento SAI es realizado por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina –CORALINA. Actualmente existen 29 estaciones de monitoreo activas y distribuidas en tres zonas, San Andrés Norte, donde se concentra la mayor población y desarrollo turístico, debido a las extensas playas y arrecifes de coral; San Andrés Sur, zona donde predominan las actividades de buceo, transporte marítimo y se ubica el relleno sanitario “Magic Garden”; y zona Providencia, que abarca las islas de Providencia y Santa Catalina (Figura 10).

Con el objetivo de clasificar el agua según la metodología propuesta por [Knox \(2001\)](#), en cada una de las estaciones REDCAM, ubicadas en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, se emplearon los registros históricos de salinidad recopilados entre 2001 y 2023. Este análisis mostró que la mayoría de las estaciones corresponden a aguas marinas con un rango de variación anual bajo (Figura 11). Específicamente, las estaciones Bahía Hooker Manglar y Bahía Hooker Plantas exhibieron una mayor variabilidad de la salinidad, especialmente durante la época lluviosa, debido a las descargas directas de aguas residuales domésticas, la hidrodinámica característica de la bahía y la interacción de patrones climáticos y ([Lonin y Mendoza, 1997; Gavio et al., 2010](#)).

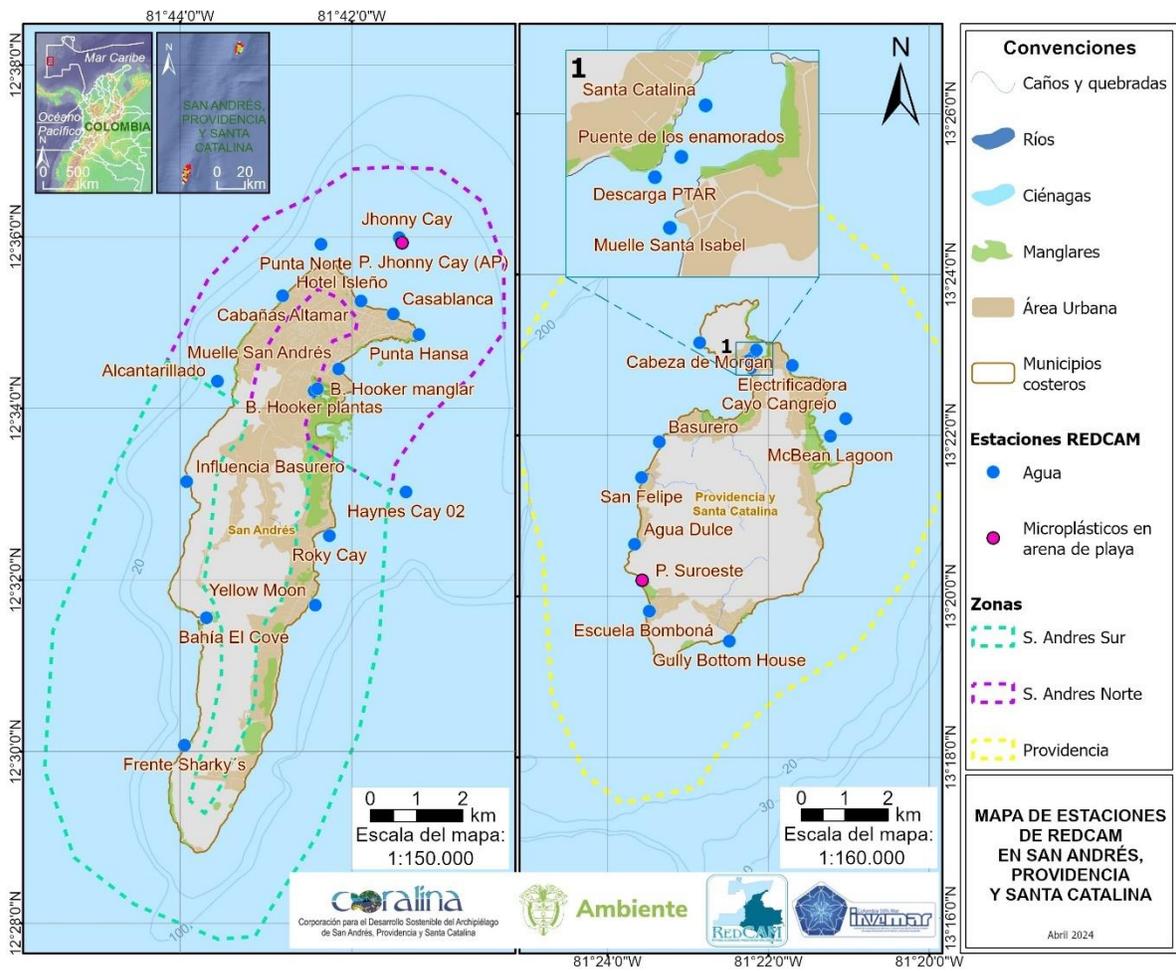


Figura 10. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

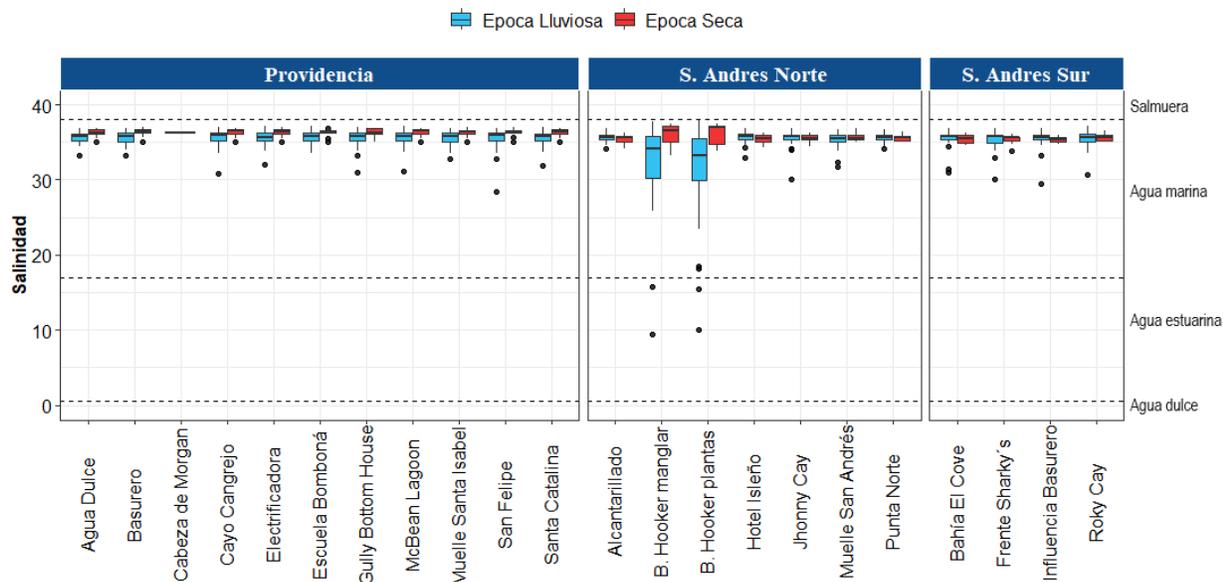


Figura 11. Representación histórica (2001-2023) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, diferenciado por zona de muestreo (Providencia, San Andrés Norte y San Andrés Sur) y entre época climática. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).

Una vez establecido el tipo de agua de cada estación (marina o estuarina), se calculó el índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM) en las estaciones que tenían el mínimo número de variables para su cálculo (6 de 8 variables). Si bien las muestras se recolectaron en cada una de las estaciones planificadas en el área marina, de acuerdo con el plan de muestreo para el cálculo del ICAM, solo fue posible estimar los subíndices que conforman la ecuación integradora para su cálculo en 7 estaciones, debido a que con la metodología analítica usada en el LABCAM para variables como $P-PO_4^{3-}$, $N-NO_3^-$ y HPDD, las mediciones estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método (LCM), por tanto, de acuerdo a las limitaciones del ICAM no fue posible estimarlo.

La evaluación de la calidad del agua mediante el ICAM evidenció variaciones desde condiciones óptima hasta inadecuada, reflejados por valores que oscilaron entre 36,3 y 90,8 (Figura 12). La calidad inadecuada se registró en las estaciones Alcantarillado y B. Hooker Plantas, mientras que en B. Hooker Manglar se identificaron condiciones aceptables. Estas diferencias se atribuyen principalmente a las elevadas concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y la presencia notable de nutrientes como los nitratos ($N-NO_3^-$).

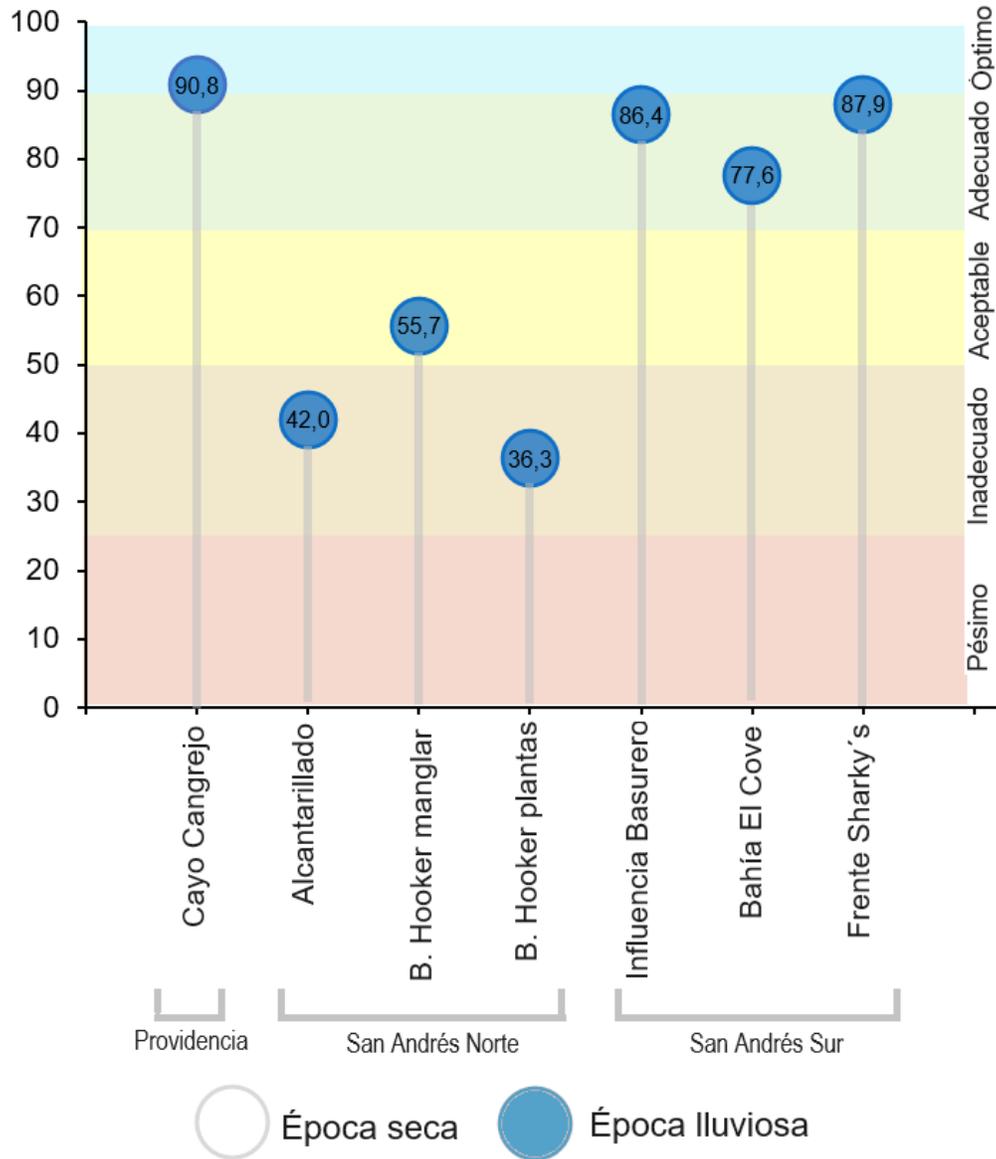


Figura 12. Calidad de agua superficial ICAM para época lluviosa (muestreo en noviembre) del 2023, en las estaciones marinas y costeras del departamento Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

En el muestreo 1 realizado en junio-julio, las estaciones de Providencia exhibieron niveles bajos de Coliformes Termotolerantes (CTE), generalmente por debajo de 240 NMP/100 mL, mientras que los Coliformes Totales (CTT) oscilaron entre valores menor al LCM (2) y 240 NMP/100 mL. Por otro lado, en San Andrés se registraron concentraciones más elevadas, con CTE alcanzando hasta valores mayores al LCM (1600 NMP/100 mL) en la estación de Alcantarillado, y CTT de 350 NMP/100 mL en Bahía Hooker (plantas).

En cuanto a las Enterococos Fecales (EFE), la mayoría de estaciones mostraron valores inferiores a 12 UFC/100 mL entre San Andrés y Providencia, excepto Alcantarillado con 130 UFC/100 mL. La mayoría de estaciones monitoreadas, a excepción de

Alcantarillado, presentaron niveles por debajo de los límites permisibles para contacto primario según las normas vigentes.

En el muestreo 2 realizado en noviembre, las estaciones ubicadas en la zona de Providencia registraron concentraciones bajas de CTE, oscilando entre valores inferiores al límite de cuantificación del método (LCM) de 1,8 y 14 NMP/100 mL; mientras que los CTT variaron entre 4 y 110 NMP/100 mL (Figura 13). Por otro lado, en San Andrés se observaron niveles de CTE que variaron desde valores inferiores al LCM de 1,8 hasta 9.200 NMP/100 mL, y CTT desde 7,8 hasta 16.000 NMP/100 mL. Las estaciones Hotel Isleño, Muelle San Andrés, Alcantarillado, B. Hooker Manglar, B. Hooker Plantas y Bahía El Cove, presentaron concentraciones de CTE y CTT por encima del límite permisible para contacto primario (CTE = 200 NMP/100 mL o 2,3 log NMP/100 mL y CTT = 1.000 NMP/100 mL o 3 log NMP/100 mL; [MinAmbiente, 2015](#)).

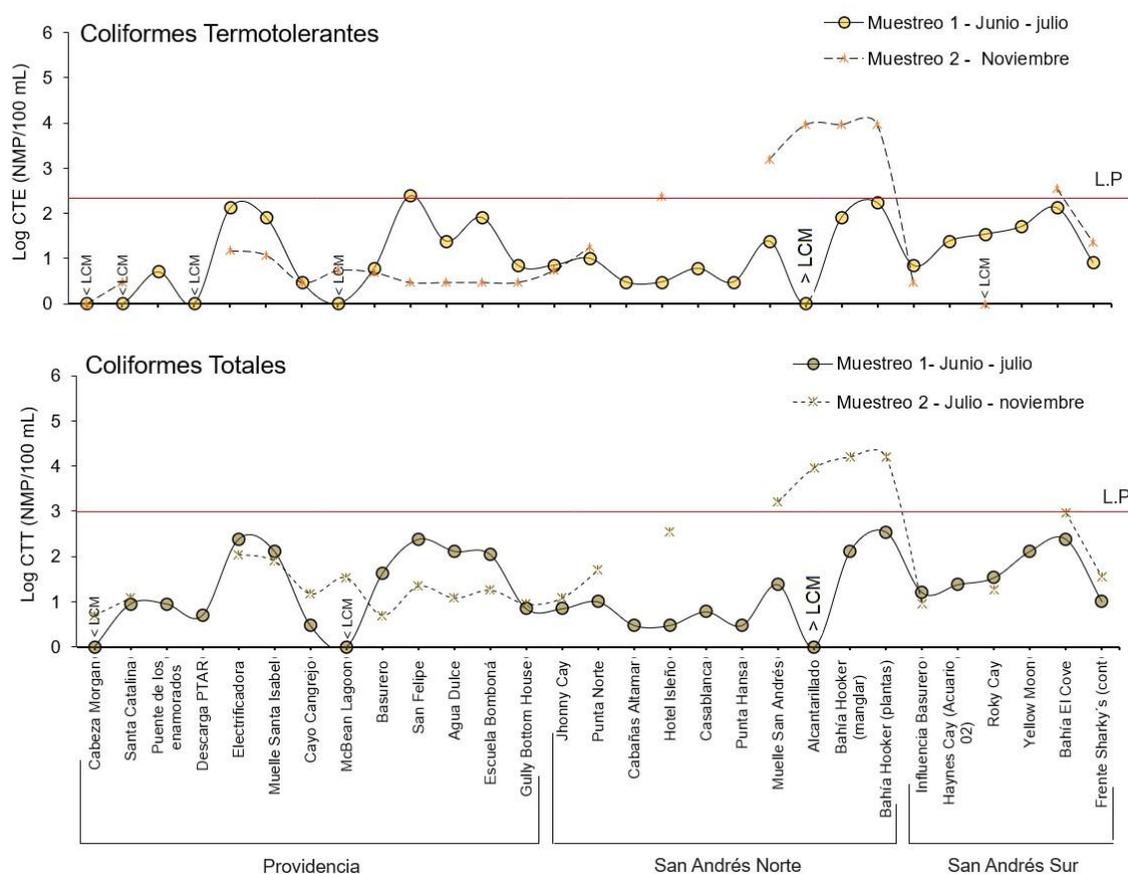


Figura 13. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM del Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT y 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL; OMS, 2003). L.P: Limite Permissible

Con respecto a la evaluación de EFE, se evidenciaron concentraciones entre 9 y 59 UFC/100 mL (Figura 14). Las estaciones monitoreadas correspondientes a Santa Catalina, Cayo Cangrejo, Agua Dulce, Jhonny Cay, Hotel Isleño y Roky Cay 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](#)) y 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 14).

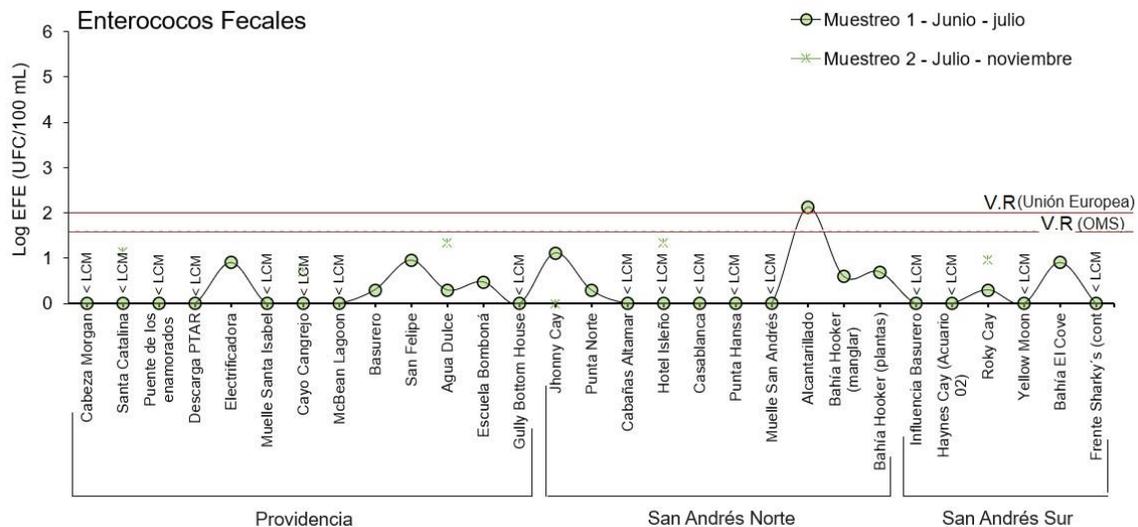


Figura 14. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM del Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina. El valor de referencia 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL; OMS, 2003). V.R: Valor de referencia.

El análisis de los registros históricos de CTE y CTT, desde 2001 hasta 2023, y EFE entre 2012 y 2023, revela un comportamiento generalmente estable en las concentraciones evaluadas en las 10 estaciones que representan las playas turísticas del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Figura 15). Este comportamiento constante, con predominio de niveles de cumplimiento altos, sugiere condiciones favorables para el uso recreativo. Sin embargo, se observa una disminución en los niveles de cumplimiento en años asociados con condiciones La Niña (2001, 2010-2012; [NOAA, 2022](#)), así como en estaciones con actividades turísticas intensas como Yellow Moon, Rocky Cay, Hotel Isleño, Johnny Cay y Agua Dulce, lo que sugiere una posible influencia de factores climáticos y antropogénicos. Particularmente en el 2023, se registró un nivel bajo de CTE en la estación Hotel Isleño (Figura 15), a pesar de que históricamente esta estación ha mantenido niveles altos de cumplimiento. Estos hallazgos sugieren la necesidad de una evaluación detallada para identificar posibles factores locales que podrían estar afectando la calidad del agua.

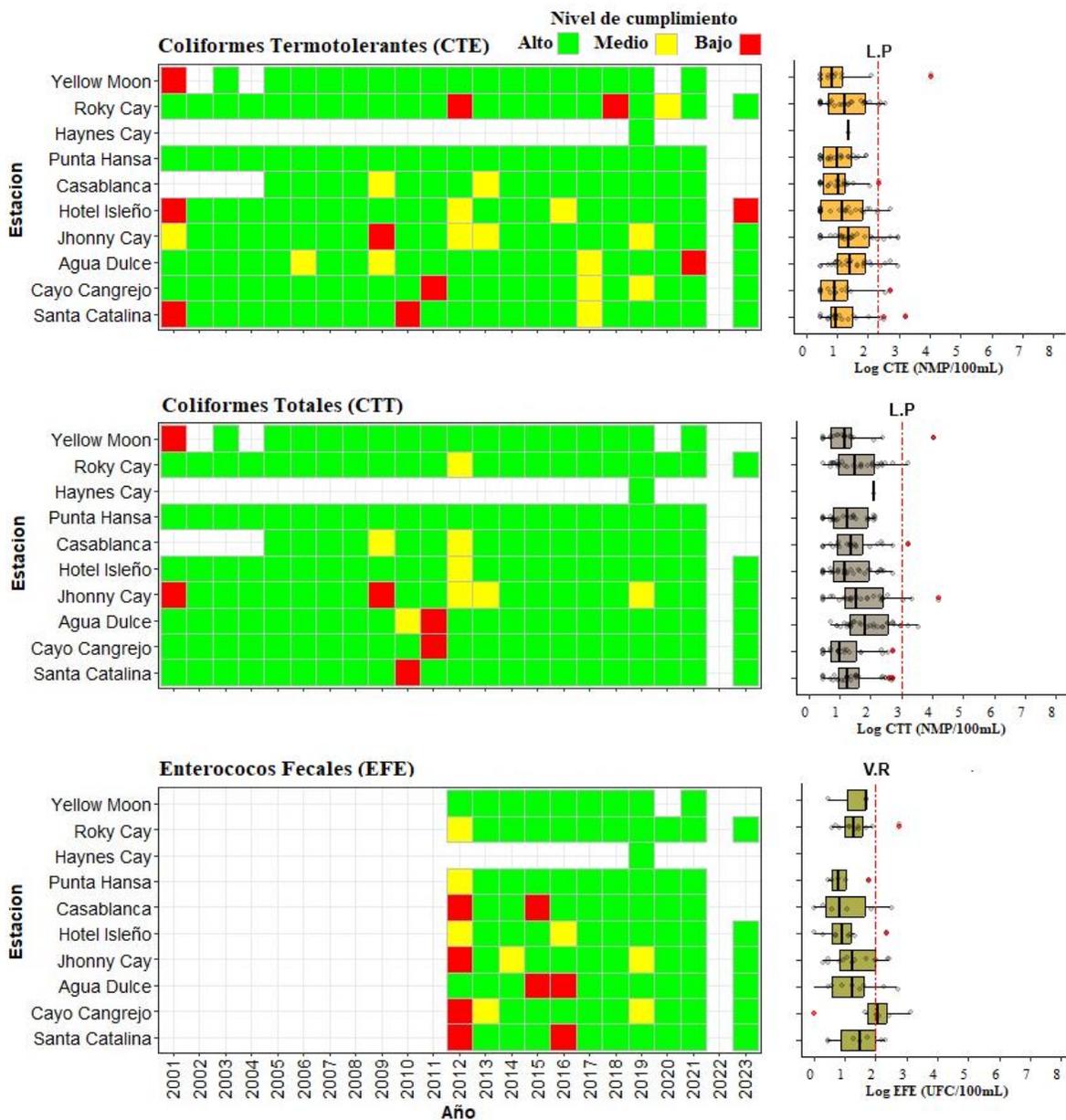


Figura 15. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 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.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El análisis del Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras (ICAM) en el Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina revela una marcada variación en la calidad del agua, indicando un deterioro significativo en la época de lluvia, evidenciando categorías de calidad del agua aceptable e inadecuada; este deterioro se debe al aumento de las concentraciones de nutrientes y contaminantes microbiológicos. Debido a las condiciones de calidad evidenciadas en las estaciones Alcantarillado, B. Hooker Plantas y B. Hooker Manglar, hay restricciones para su uso, lo cual muestra la importancia de dar continuidad al monitoreo e implementar medidas de gestión y conservación para preservar la calidad del agua y proteger los ecosistemas acuáticos en la región estudiada.
- Las mediciones de clorofila a muestran diversas condiciones tróficas en las aguas del Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina, desde niveles oligotróficos hasta eutróficos. La presencia de condiciones eutróficas, especialmente en la estación B. Hooker Manglar, con concentraciones más elevadas de clorofila, señala un mayor aporte de nutrientes y una productividad primaria más intensa, atribuida a la dinámica característica del ecosistema de manglar en la región. Estas concentraciones de clorofila a son indicativas de la actividad biológica en estos entornos acuáticos, los cuales se asocian a un mayor crecimiento de algas y fitoplancton.
- Los resultados reflejan una situación preocupante en la calidad del agua, especialmente en áreas turísticas, donde se han registrado niveles de contaminación por CTE y CTT. Estos datos son indicativos de riesgos potenciales y subrayan la necesidad de implementar estrategias integrales de gestión ambiental, enfocadas a la disminución de la contaminación por CTE y CTT en las estaciones como Hotel Isleño, Muelle San Andrés, Alcantarillado, B. Hooker Manglar, B. Hooker Plantas y Bahía El Cove.



DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA

Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

7. LA GUAJIRA

El departamento de La Guajira, situado al norte del Caribe colombiano, exhibe una rica diversidad en su zona costera, compuesta por tres subregiones: alta, media y baja Guajira, cada una con características socioeconómicas y paisajísticas diferentes. Este departamento se distingue por la presencia de diversos ecosistemas, que incluyen playas, manglares, arrecifes coralinos, lagunas costeras y las mayores extensiones de pastos marinos en el país ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#); Figura 16).

La alta Guajira, ubicada en el norte del departamento, abarca los municipios de Uribe y Manaure, donde se llevan a cabo actividades portuarias asociadas a la exportación de carbón. En la Guajira media, que comprende la sección con mayor influencia de poblaciones urbanas, como el municipio de Riohacha, se encuentra la desembocadura del río Ranchería ([CORPOGUAJIRA e INVEMAR, 2012](#); [INVEMAR, 2023a](#)). La Guajira baja, situada en la vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, se caracteriza por ser la zona donde se registran las mayores precipitaciones en el departamento; en esta zona se realizan actividades agrícolas y ganaderas. Además, esta área se ubican las playas turísticas de Dibulla y Camarones, junto con las desembocaduras de los ríos Palomino, Cañas y Jerez ([INVEMAR, 2020](#)).

Los análisis históricos del año 2001 al 2023 de salinidad para las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, permitieron clasificar los tipos de agua en marinas, estuarinas y dulces, según los rangos para tipo de agua establecidos por [Knox \(2001\)](#). De las 28 estaciones históricas analizadas, 82,1% se calificaron como agua marina (n=23), y 17,8% como agua dulce (n=5) (Figura 17). La salinidad del agua superficial tuvo una amplia variación en la época lluviosa, debido al aumento en los aportes de agua dulce por las descargas de los ríos. Sin embargo, ninguna estación fue clasificada como tipo agua estuarina.

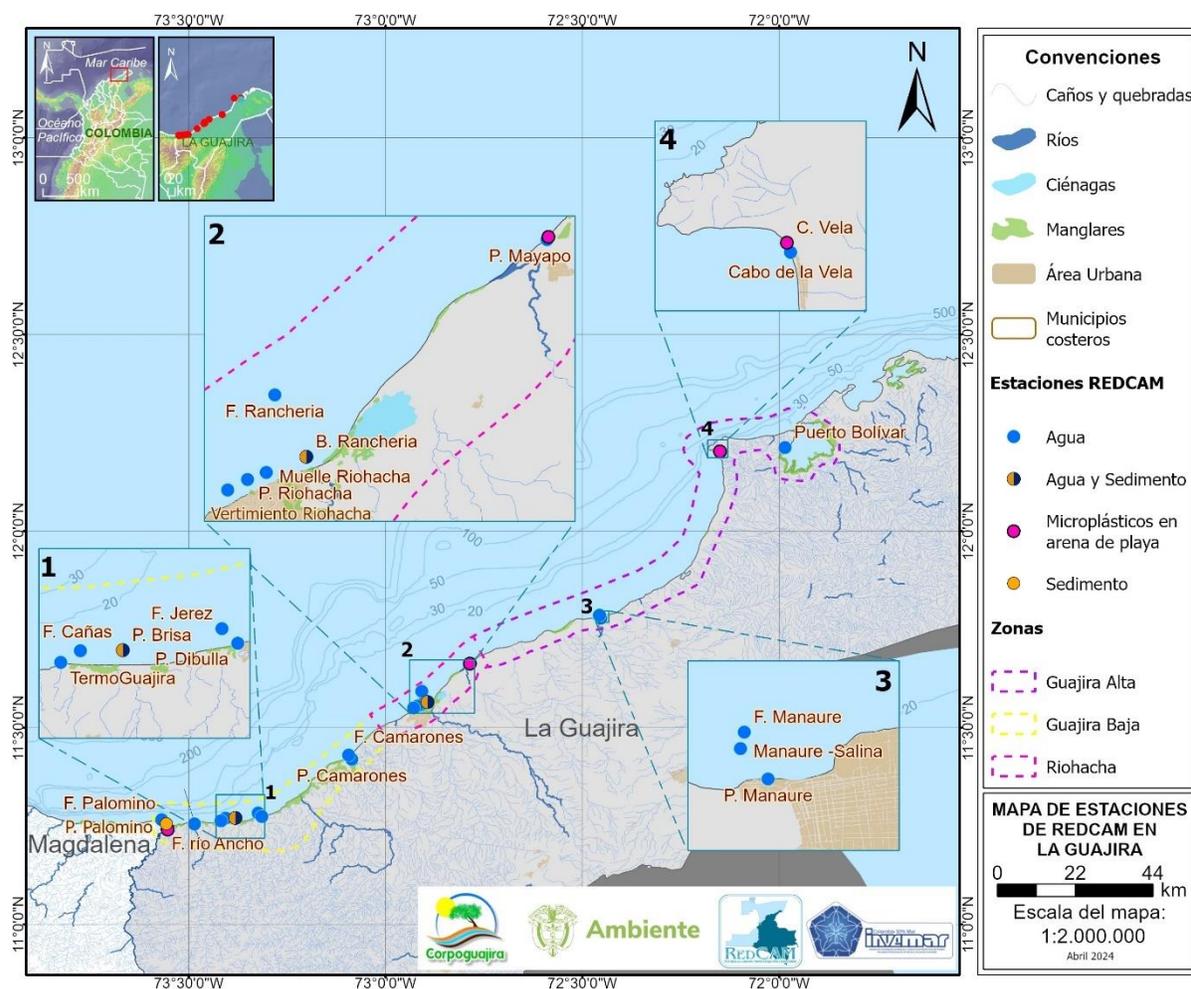


Figura 16. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento de La Guajira. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

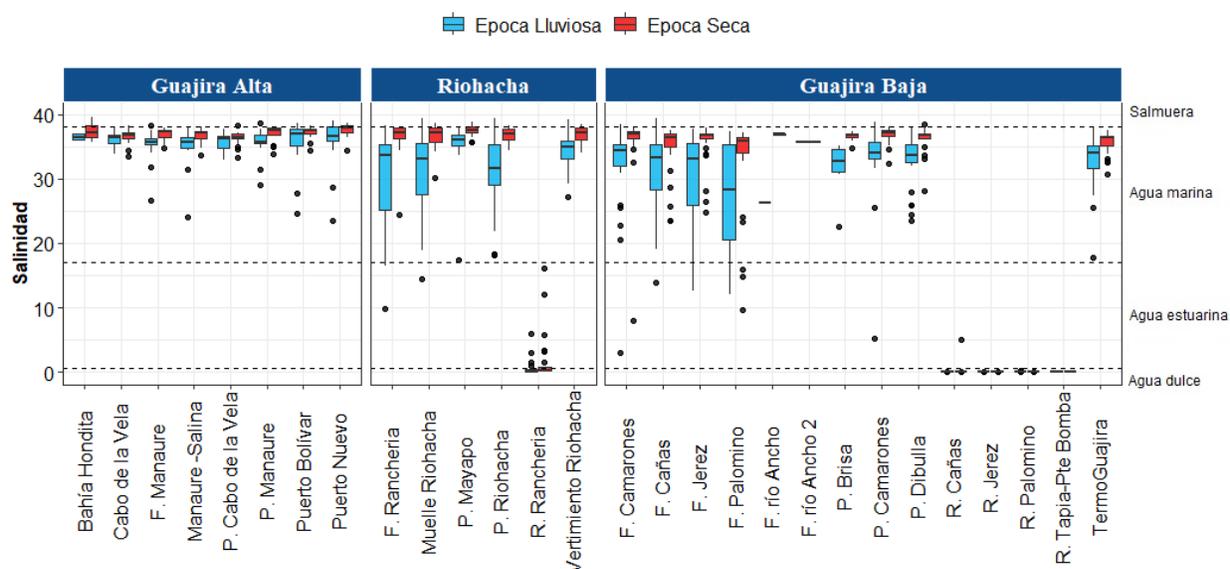


Figura 17. Variación histórica (2001-2023) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).

El ICAM se estimó en 7 estaciones monitoreadas en abril (época seca) y 9 estaciones en octubre (época lluviosa) del 2023. Los valores ICAM oscilaron entre calidad inadecuada y adecuada (Figura 18). En la época seca el 71,4% de las estaciones estuvieron en calidad adecuada y el 28,5% en calidad inadecuada. La estación P. Camarones presentó un deterioro de la calidad del agua con respecto al año 2022 ([INVEMAR, 2023a](#)); condiciones que se atribuyen a los altos niveles de SST y nitratos debido a los aportes del corregimiento Camarones y actividades de turismo que se desarrollan en la zona. En la época lluviosa, todas las estaciones estuvieron en calidad adecuada. No se presentaron estaciones con calidad pésima (Figura 18).

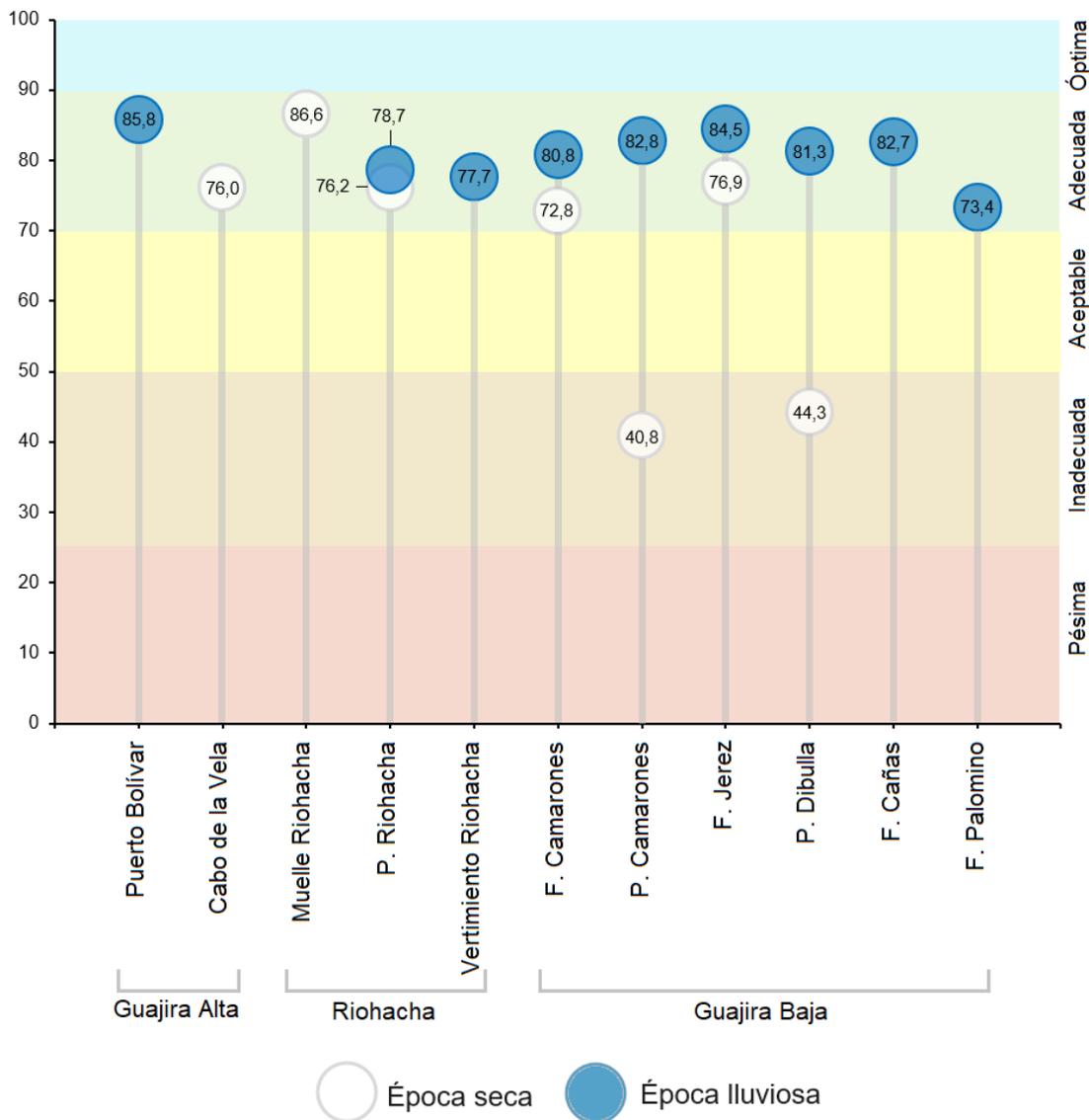


Figura 18. Calidad de agua superficial ICAM para abril (época seca) y octubre (época lluviosa) del año 2023, en las estaciones marinas y costeras del departamento de La Guajira.

Por otra parte, se analizó el Carbono Orgánico Total (COT) en las estaciones ubicadas en la zona de Guajira Alta, Riohacha y Guajira Baja. Las concentraciones estuvieron entre 0,51 y 6,13 mg/L (Figura 19). Las mayores concentraciones en la época seca se registraron en F. río Ancho (4,06 mg/L) y P. Dibulla (2,47 mg/L); mientras que en la época lluviosa se reportaron en las estaciones F. Camarones (6,13 mg/L), P. Camarones (5,31 mg/L) y F. Ranchería (4,82 mg/L), estaciones que presentan características marinas. Las estaciones F. Manaure, Muelle Riohacha, F. Ranchería, P. Riohacha, F. Camarones, P. Camarones, P. Brisa, TermoGuajira y F. Palomino en la época seca presentaron registros de COT por debajo del límite de cuantificación del método analítico de laboratorio del LABCAM.

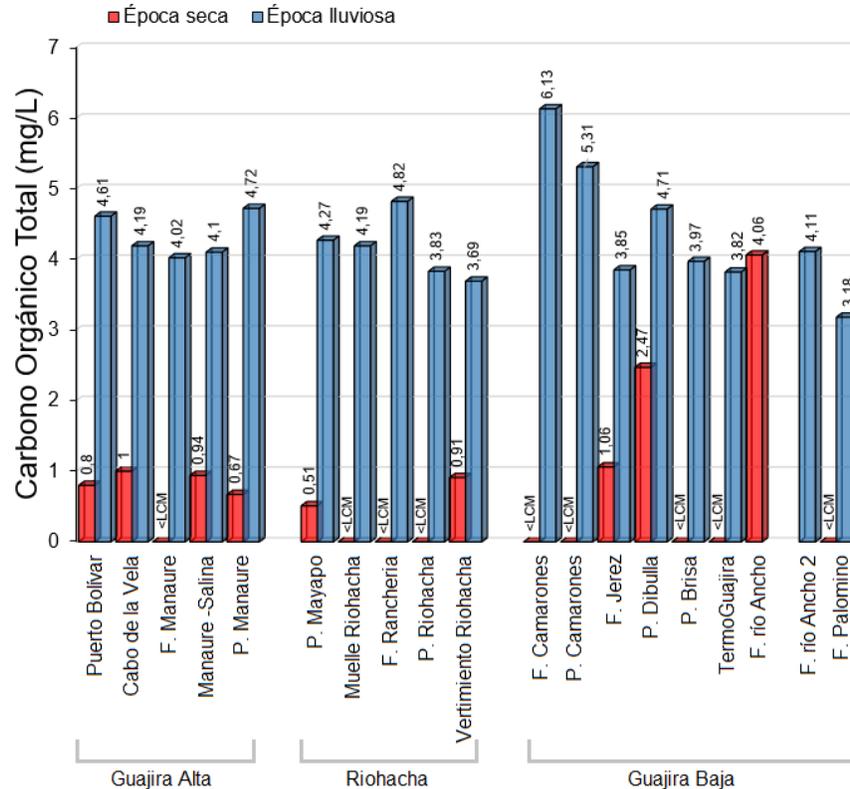


Figura 19. Carbono orgánico total (COT) de las muestras de agua recolectadas en el 2023 en época seca y lluviosa en el departamento de La Guajira. Barras rojas y azules representan la época seca y lluviosa respectivamente.

La calidad del agua para uso turístico se determinó a partir de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) contrastados con los valores de referencia de límites permisibles para uso recreativo de contacto primario de <200 NMP/100mL de CTE, <1.000 NMP/100mL ([MinAmbiente, 2015](#)) y <100 UFC/100mL ([Unión-Europea, 2006](#)).

En el análisis durante la época seca y lluviosa del año 2023, en todas las estaciones de la zona Guajira Alta, Riohacha y Guajira Baja se registraron concentraciones de CTE y CTT por debajo del límite permisible por contacto primario (200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE, y 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT, con excepción de Cabo de la Vela, P. Mayapo y F. río Ancho 2 para CTE en la época lluviosa, la cual estuvo por encima del límite permisible. (Figura 20).

En las dos épocas climáticas muestreadas del año 2023, en todas las estaciones ubicadas en la zona de Guajira Alta, Riohacha y Guajira Baja, se registraron concentraciones de EFE por debajo del límite permisible (100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL; [Unión-Europea, 2006](#)); sin embargo, se superó el valor de referencia propuesto por la [OMS \(2003\)](#) de <40 UFC/100 mL, representando un riesgo >1% y de 0,3% de contraer enfermedades gastrointestinales y respiratoria febril aguda en la estación Puerto Bolívar (Figura 21).

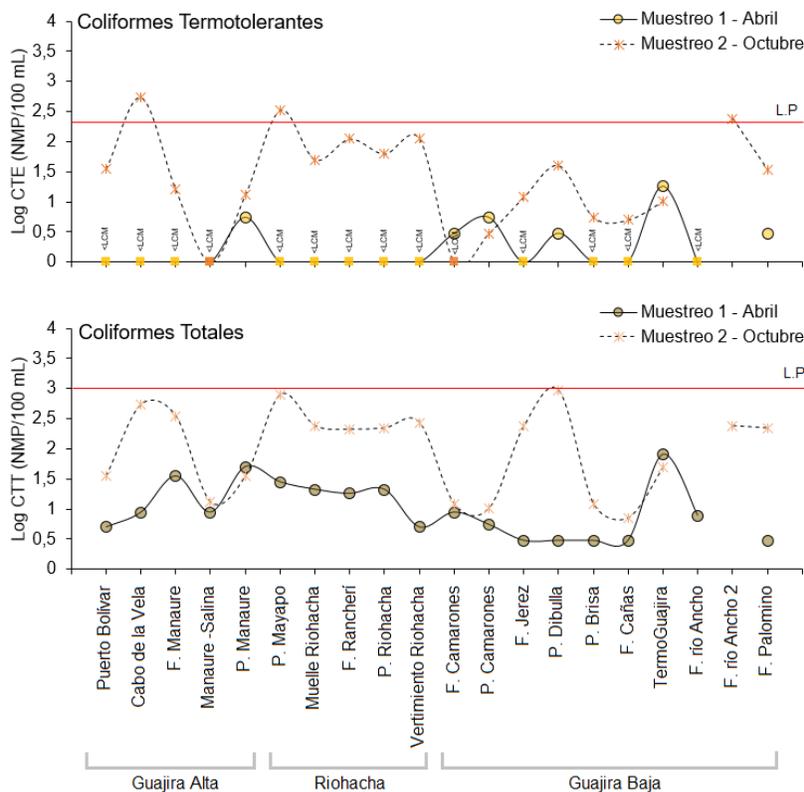


Figura 20. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM La Guajira, muestreo del 2023. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permissible.

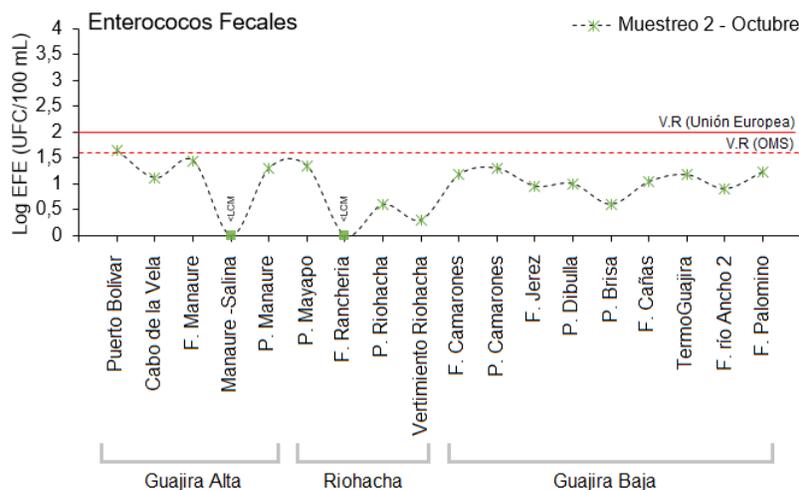


Figura 21. Concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM La Guajira 2023. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 100 UFC/100 mL, Unión-Europea 2006). Línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL; OMS, 2003). V.R: Valor de referencia.

El análisis entre los años 2001 al 2023 evidencia que las estaciones P. Dibulla, P. Camarones, P. Riohacha, Muelle Riohacha, P. Mayapo y P. Manaure, han presentado concentraciones de CTE y CTT que superan de manera reiterativa el criterio de calidad para uso recreativo por contacto primario (200 NMP de CTE/100 mL; [MinAmbiente, 2015](#)) (Figura 22). Sin embargo, en el 2023 presentó niveles de cumplimiento alto y medio. Por otro lado, la estación Cabo de la Vela presentó nivel de cumplimiento medio, este deterioro de la calidad microbiológica observado está relacionada con actividades antropogénicas como el turismo, sin dejar de un lado el deficiente manejo de las aguas residuales y residuos sólidos de los municipios de Uribía, ([INVEMAR, 2020](#)). En términos de EFE, se ha evidenciado una mejora en todas las estaciones durante el año 2023, cumpliendo con el criterio de calidad >500 UFC/100mL ([OMS, 2003](#)) (Figura 22).

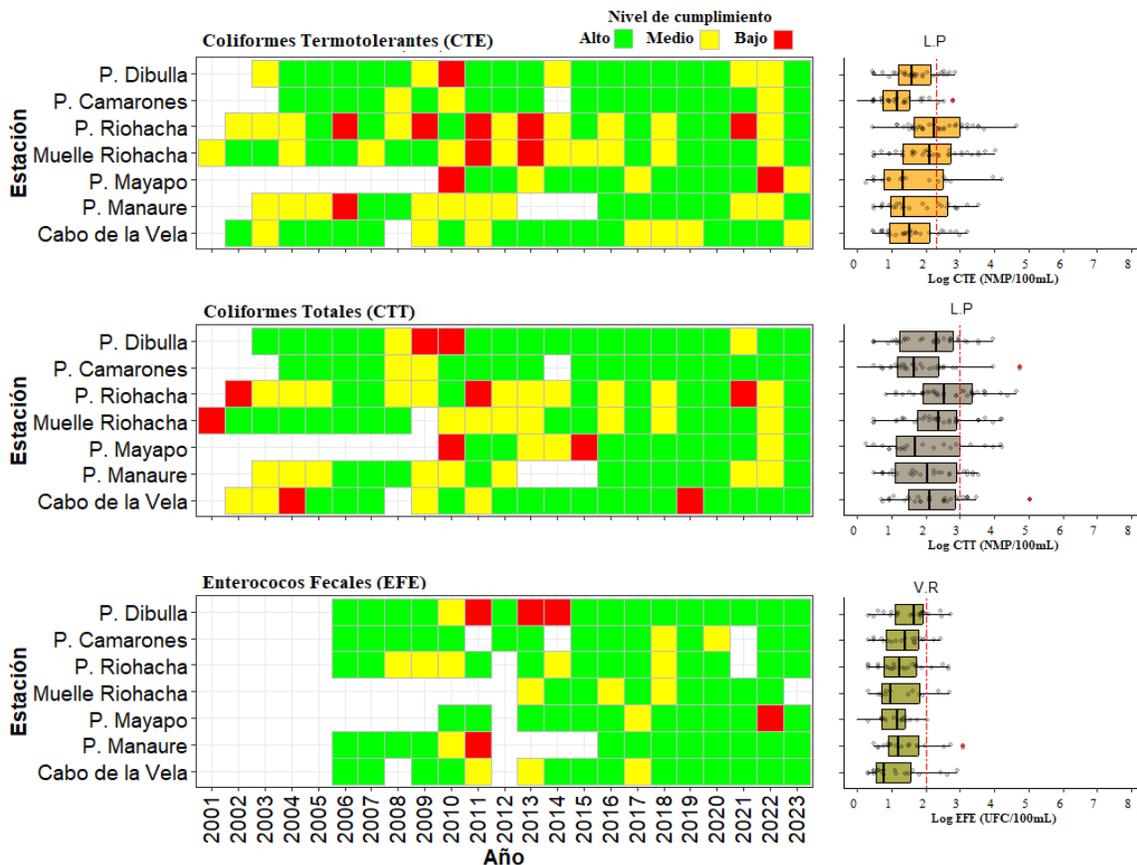


Figura 22. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de La Guajira. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (>=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.

CALIDAD DE SEDIMENTOS MARINOS Y COSTEROS:

Los análisis de granulometría en las muestras de sedimentos recolectadas en la estación Puerto Brisa en la época lluviosa del año 2023, tuvieron un contenido de 62,9 % de Lodo, 36,82 % de Arena y 0 % de Grava, clasificando el sedimento como tipo Lodoso (limo+arcilla, <63 μm), con un diámetro de 26,93 μm (Figura 23 y Figura 24). Las muestras colectadas en la época seca, tuvieron un contenido de 34,2 % de Lodo, 65,18% de Arena y 0,45% de Grava, clasificando el sedimento como tipo Lodoso (limo+arcilla, <63 μm), con un diámetro de 40,83 μm . El sector de Guajira Baja se caracteriza por la presencia de arenas finas y lodos, en esta zona se encuentran sedimentos lodosos más cerca de la costa y lodo arenoso más hacia afuera, debido a la deposición in situ de detritos biogénicos ([Paramo et al., 2012](#)).

En la estación P. Palomino, el sedimento recolectado en la época lluviosa del año 2023, tuvo un contenido de Lodo de 1,5 %, 97,44 % de Arena y 1 % de Grava (Figura 23 y Figura 24), clasificando el sedimento como tipo Arena fina, con diámetro medio del grano de 224,8 μm . El sedimento colectado en la época seca del año 2023, presentó una proporción similar del porcentaje de material retenido con respecto a la época lluviosa; la cual reportó un contenido de Lodo de 0,26 %, 99,46 % de Arena y 0,26 % de Grava; clasificando el sedimento como tipo Arena gruesa, con diámetro medio del grano de 554 μm . El leve incremento de lodos y la disminución del tamaño de grano durante la época lluviosa, puede asociarse con la influencia de los aportes y deposición de detritos biogénicos provenientes del río Palomino que es el afluente cercano a la estación de muestreo.

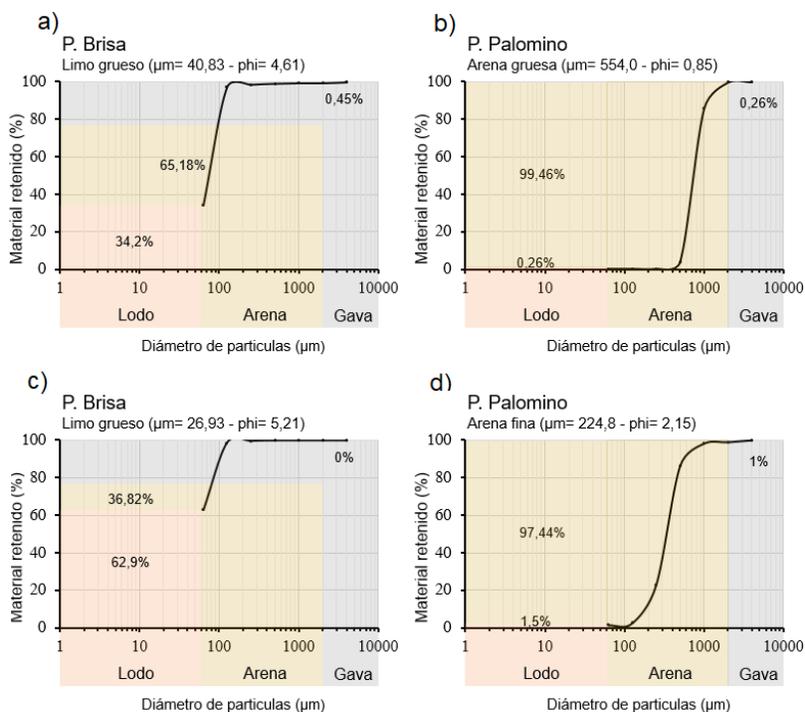


Figura 23. Curva granulométrica de las muestras de sedimentos recolectadas en abril y octubre del 2023, en las estaciones P. Brisa y P. Palomino en el departamento de La Guajira.

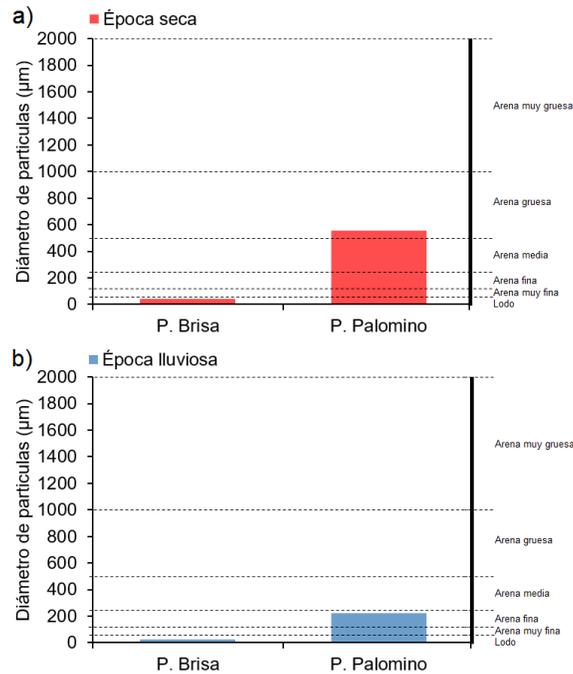


Figura 24. Tamaño medio de partícula del sedimento (μm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en 2023 en el departamento de La Guajira. Las barras rojas y azules diferencian la época seca y lluviosa, respectivamente. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

En las muestras de sedimento recolectadas en la estación P. Brisa, en la época seca del año 2023, el contenido de Carbono orgánico total (COT) fue 0,51%, mientras que en la época lluviosa fue de 0,44%. En el sedimento de la estación P. Palomino, colectado en la época seca, el porcentaje de COT fue 0,15%; mientras que en la época lluviosa el contenido de COT estuvo por debajo del límite de cuantificación del método de laboratorio del LABCAM (COT= 0,1%) en ambas épocas del año 2021 (Figura 25).

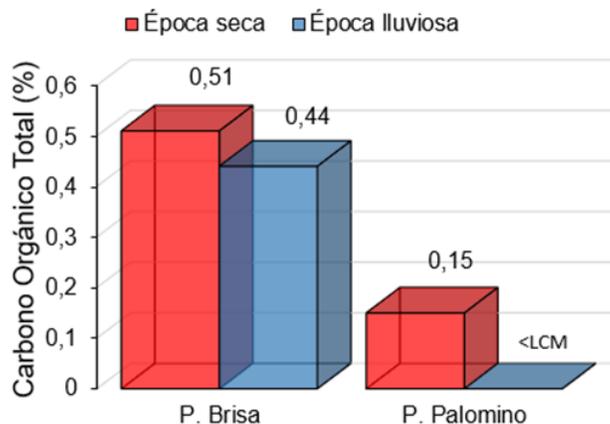


Figura 25. Carbono orgánico total (COT) de las muestras de sedimentos recopilados en el año 2023 en el departamento de La Guajira.

BASURA MARINA Y MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS TURÍSTICAS

El análisis del estado de contaminación en las playas turísticas Palomino, Mayapo y Cabo de la Vela del departamento de La Guajira, en abril (época seca) y octubre (época lluviosa) de 2023, mostró que la concentración de basura marina fue menor en época seca (Figura 26). En relación con los muestreos realizados en los años 2021 y 2022 en playa Palomino, las abundancias de basura marina reportados para el 2023 fue menor para ambas épocas climáticas; sin embargo, para playa Mayapo y Cabo de la Vela se presentaron mayores concentraciones en el año 2023 ([INVEMAR 2022; 2023a](#)). Cabe resaltar que en La Guajira se presenta poca actividad industrial, pero es un destino turístico popular ([Acosta-Coley et al., 2019](#)). Estas playas, suelen ser muy atractivas por los paisajes naturales; además, se encuentran alejadas de la ciudad, con pocos servicios comerciales y son limpiadas por asociaciones turísticas comunitarias ([Garcés-Ordóñez et al., 2020](#)), condiciones que influyen en su estado de contaminación por basura marina.

Las abundancias de basura marina fueron menores en comparación con otras playas turísticas muestreadas a nivel nacional como Bahía Concha, Playa Blanca, Playa Rodadero en el departamento del Magdalena; Playa Salgar, Puerto Colombia y Puerto Velero en el departamento del Atlántico ([INVEMAR, 2023a](#)). Se destaca la abundancia que se presentó en playa Mayapo en la época lluviosa (2,11 ítems/m²), lo cual podría asociarse al arrastre de basura a través de escorrentías.

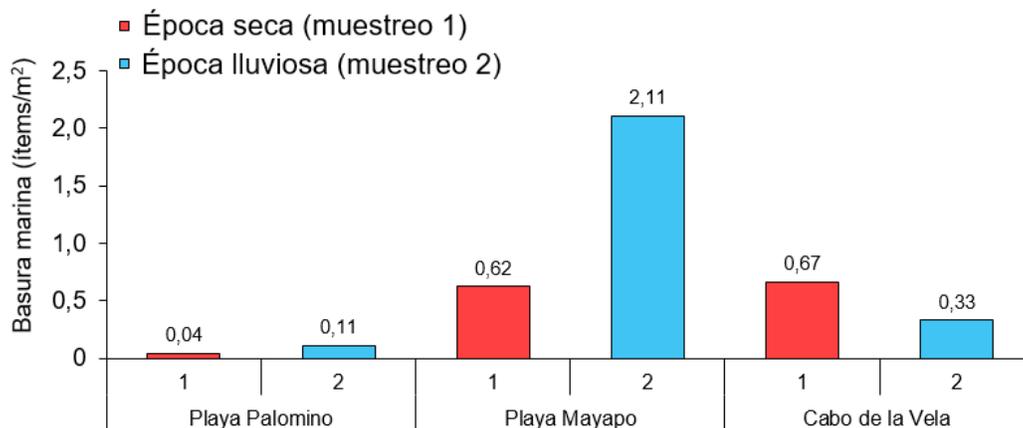


Figura 26. Abundancia de basura marina en la playa turística Palomino, registrada en los muestreos realizados en abril (época seca) y octubre (época lluviosa) de 2023.

Entre los materiales de basura marina caracterizada en ambas épocas climáticas de 2023, los plásticos se destacaron por su predominancia (Figura 27). Además de la presencia de plástico, en época seca, un 36,7 % de la basura reportada correspondió a

textil; además, en playa Palomino se registró un 50 % de metal mientras que en época lluviosa se destacaron los plásticos con más del 90 % de la proporción (Figura 27).

La basura marina puede proceder de actividades antrópicas, vientos, corrientes marinas y desembocaduras de los ríos. Los plásticos suelen ser los más encontrados por sus características de resistencia, flexibilidad y flotabilidad que les permite ser transportados desde otras áreas (Coneo & Causil, 2020).

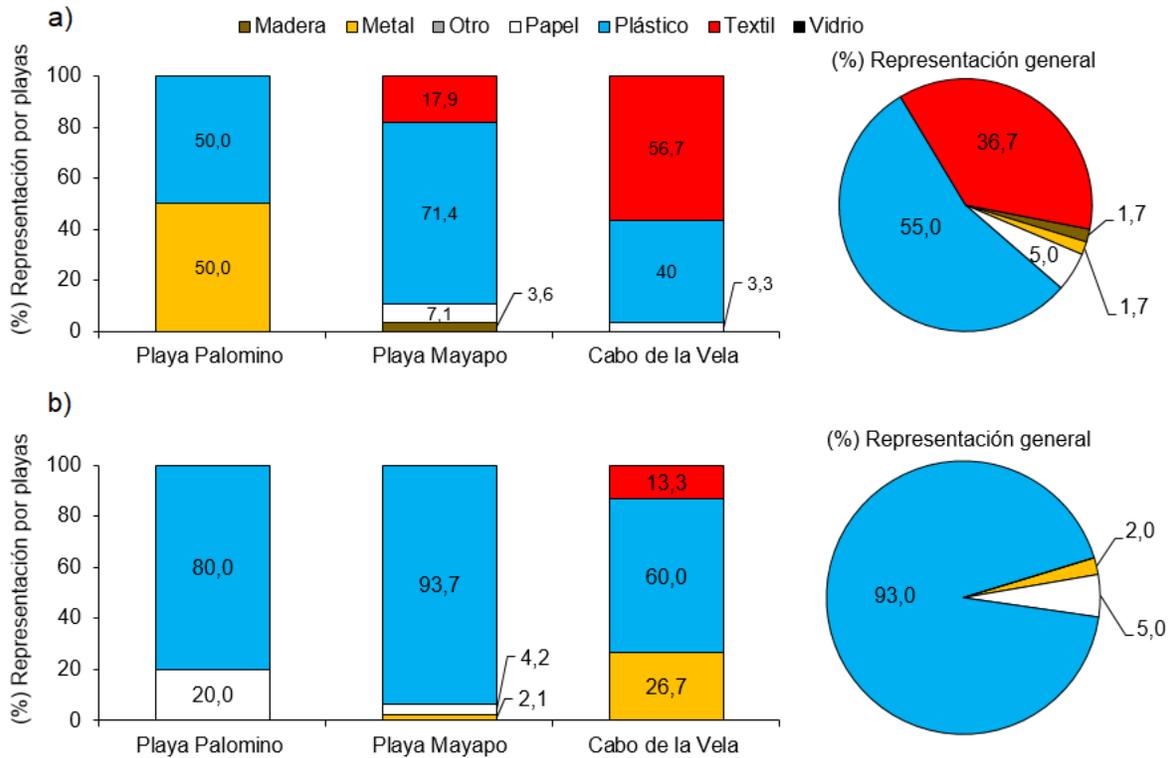


Figura 27. Representación de los diferentes materiales de basura marina en la playa turística de Palomino registrada en los muestreos realizados en: a) abril (época seca) y b) octubre (época lluviosa) de 2023.

En relación con los microplásticos, en los muestreos del 2023 se registraron un total de 178 ítems, de origen secundario, con la mayor abundancia en la época lluviosa (Figura 28). Estos resultados presentan un patrón relacionado con los valores obtenidos para el muestreo de basura marina; en donde se registraron las mayores abundancias de basura marina en época lluviosa (Figura 27). Las abundancias encontradas son mayores a las reportadas en playas turísticas como Cristal, Blanca, Bahía Concha, Taganga y Camellón en el departamento del Magdalena y Puerto Velero, Playa Salgar, Santa Verónica y Caño Dulce en el departamento del Atlántico (INVEMAR, 2023a).

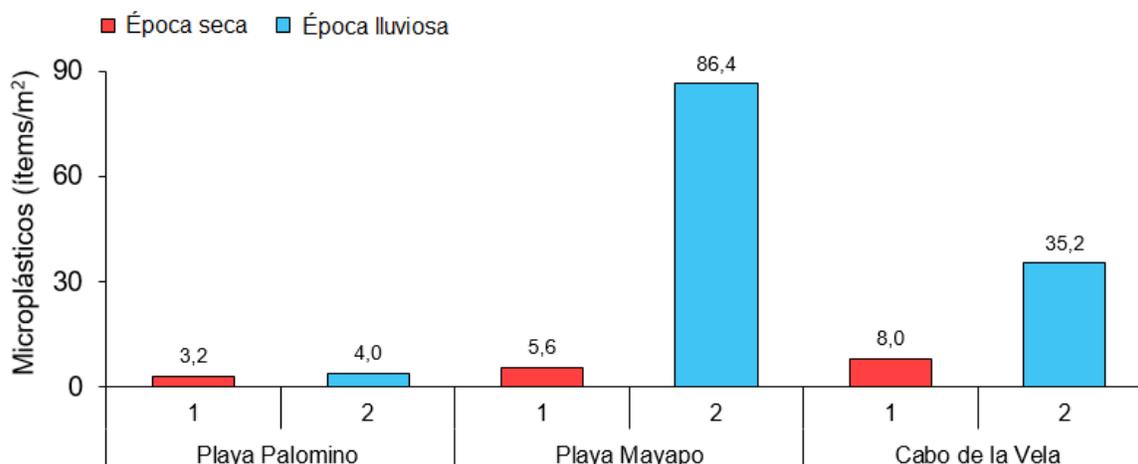


Figura 28. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de la playa Palomino del departamento de La Guajira, colectados en los muestreos realizados en abril (época seca) y octubre (época lluviosa) de 2023.

Los tipos de los microplásticos identificados, de acuerdo con su origen, estuvieron representados en un 100 % por microplásticos de origen secundario (Figura 29). Estos se derivan de la descomposición de desechos plásticos de mayor tamaño expuestos a la radiación UV bajo la luz solar directa o a la abrasión física en la arena y rocas (Yu *et al.*, 2020). Las formas más abundantes en la época seca fueron filamentos (38,1 %), seguido de fragmento (29 %) y películas (23,8 %) (Figura 29). En época lluviosa predominaron los filamentos (48,4 %), seguido de películas (35,7 %) y fragmentos (12,7 %) (Figura 29).

A pesar de reportar mayores abundancias en relación con otras playas turísticas del caribe colombiano, estas siguen siendo bajas. Lo anterior podría estar asociada a la ausencia de fuentes de contaminación locales, la dinámica de las corrientes marinas y los vientos que impiden que los microplásticos del sur lleguen al norte (Acosta-Coley *et al.*, 2019).

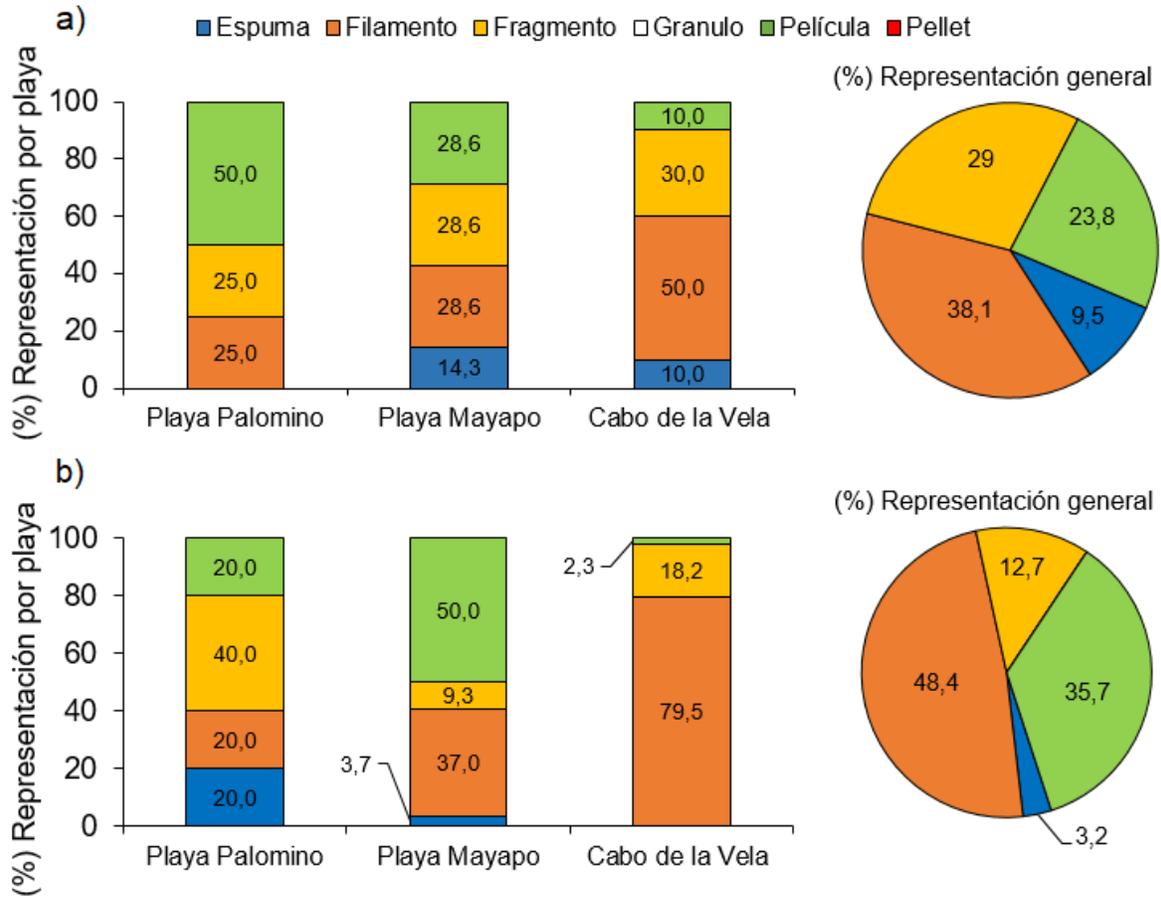


Figura 29. Representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de la playa Palomino del departamento de La Guajira, colectados en los muestreos realizados en: a) abril (época seca) y b) octubre (época lluviosa) de 2023.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La calidad del agua marina y costera del departamento de La Guajira en la época seca del año 2023, determinada mediante el ICAM, mostró un deterioro en la estación P. Camarones que pasó de condiciones de calidad adecuada en el año 2022, a condiciones de calidad Inadecuada debido a las concentraciones de sólidos suspendidos totales, y nitratos, que provienen de fuentes contaminantes, como el vertimiento de aguas residuales domésticas, asociados a la carencia de sistemas de saneamiento básico. Asimismo, se presentó condición inadecuada para P. Dibulla de manera reiterativa. Estos resultados muestran la necesidad de mejorar la cobertura de alcantarillado y establecer control para disminuir las descargas de aguas residuales, las cuales provocan el constante deterioro de la calidad del agua.
- La calidad sanitaria de las playas de interés turístico del departamento de La Guajira, P. Camarones, P. Dibulla, P. Riohacha, Muelle Riohacha y P. Manaure es adecuada para actividades turísticas o recreativas por contacto primario, debido a que las cargas de CTE y CTT no superan los criterios de calidad de la Legislación Colombiana (Decreto 1076 del 2015).
- De acuerdo con los resultados de basura marina, importante ampliar el muestreo de basura marina y microplásticos a otras matrices ambientales como agua superficial fluvial y marina, riberas de río, entre otros, así como la implementación de análisis de flujo de fuga de residuos sólidos e identificación de fuentes de contaminación que contribuyan a comprensión del comportamiento de este contaminante en los ambientes marino-costeros y poder contar con información base robusta y confiable que permita el diseño de estrategias y acciones efectivas contra la contaminación por basura marina.



DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

*Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR
José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Laura Paola Fragozo Velázquez – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR*

8. MAGDALENA

El departamento del Magdalena, ubicado hacia el norte del Caribe colombiano, mantiene su importancia estratégica en la conservación de ecosistemas marino-costeros. Los diversos ecosistemas marinos presentes, como playas de arena, arrecifes coralinos, pastos marinos, manglares, lagunas costeras, litorales rocosos y fondos sedimentarios, continúan siendo fundamentales para el desarrollo sostenible del departamento. Su importancia se refleja en actividades como el turismo, la pesca y las operaciones portuarias ([Ecoversa, 2014](#)). La desembocadura de numerosos ríos provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta contribuye a la riqueza de estos ecosistemas.

Las estaciones de muestreo REDCAM se encuentran distribuidas en cuatro zonas: Buritaca, Parque Tayrona, Santa Marta y Costa Sur (Figura 30). La zona Buritaca se destaca por ser la cuenca baja de ríos importantes como Don Diego, Buritaca, Guachaca y Mendihuaca que atraviesan extensas áreas agrícolas. La zona Parque Tayrona, un área natural protegida de especial interés para la conservación. La zona Santa Marta, donde convergen diversas actividades socioeconómicas y se descargan los vertimientos urbanos principalmente a través del emisario submarino, sigue siendo una zona importante para mantener un monitoreo; y la zona Costa Sur, con puertos carboníferos y actividades turísticas ([INVEMAR, 2023a](#)).

De acuerdo con la clasificación de las aguas basada en los valores de salinidad propuestos por [Knox \(2001\)](#), se observa que la tendencia histórica se ha mantenido. En los muestreos realizados en el año 2023, más del 70% de estaciones muestreadas se clasifican como agua marina, principalmente ubicadas en playas, bahías y algunos frentes de ríos (Figura 31). Estas estaciones muestran una tendencia común de valores de salinidad elevados durante la época seca, lo que sugiere una continuidad en el patrón observado en años anteriores. Las estaciones situadas en los ríos del departamento, incluyendo el río Córdoba, río Toribio, río Gaira, río Manzanares, río Piedras, río Buritaca, río Mendihuca, río Guachaca y río Don Diego, exhibe características de agua dulce.

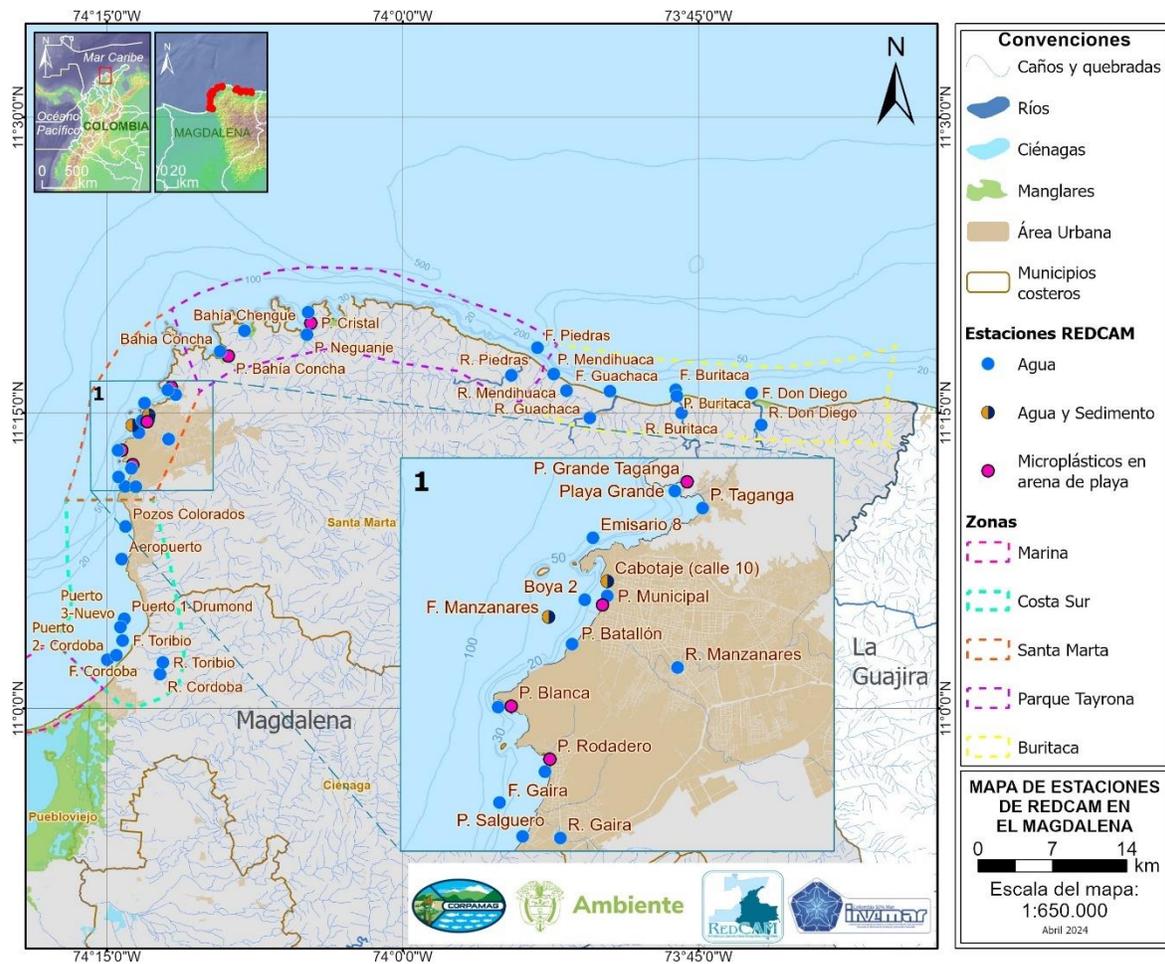


Figura 30. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento del Magdalena. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

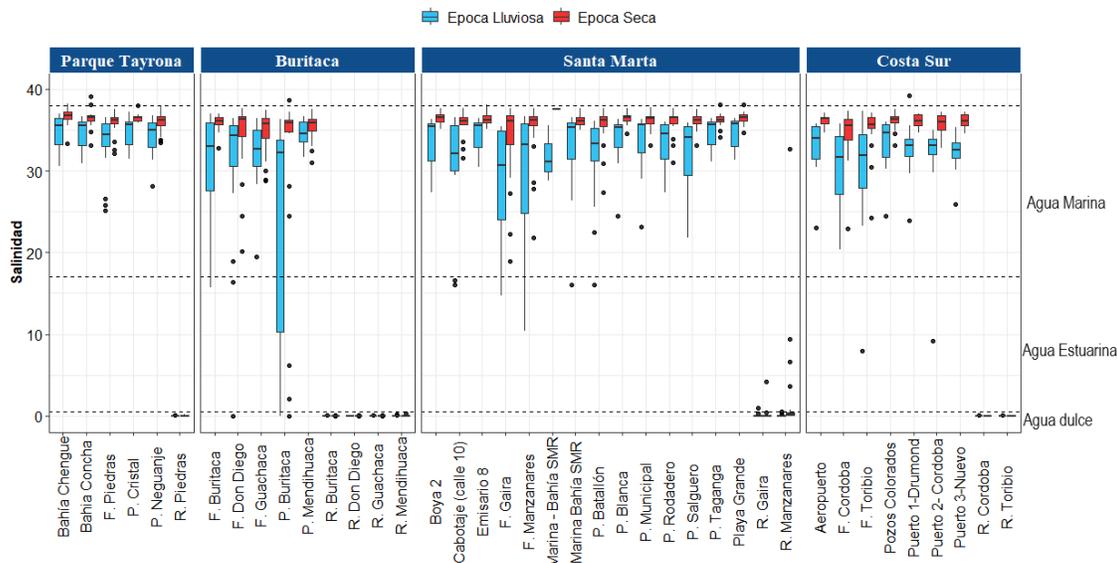


Figura 31. Variación histórica (2001- 2023) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas 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).

En cumplimiento del plan de muestreo establecido para el cálculo del ICAM se realizó la recolección de muestras en todas las estaciones del departamento del Magdalena que cumplieran con la característica de aguas marinas o estuarinas; no obstante, de acuerdo con la metodología analítica del laboratorio algunas variables como como P- PO_4^{3-} , N- NO_3^- y HPDD estuvieron por debajo del Límite de cuantificación del método (LCM) usado en LABCAM, por lo cual no fue posible estimar los subíndices que conforman la ecuación integradora del ICAM para las estaciones Puerto 3-Nuevo, Pozos Colorados, Puerto 1- Drumond, P. Blanca, Emisario 8, Playa Grande, P. Taganga, P. Mendihuaca, Bahía Concha, P. Batallón, Puerto 2- Córdoba, Boya 2, P. Salguero, P. Rodadero, P. Municipal, Bahía Chengue, P. Cristal.

Las estaciones donde se pudo estimar el ICAM presentaron condiciones de calidad del agua desde inadecuada hasta óptima. Las estaciones F. Don Diego, F. Buritaca, F. Guachaca, F. Piedras, P. Neguanje, Aeropuerto, P. Buritaca y F. Córdoba muestran calidad adecuada u óptima, indicando niveles satisfactorios de calidad del agua (Figura 32), que indican condiciones propicias para la preservación de la flora y fauna marina. En contraste, en la estación F. Toribio la concisión fue aceptable y en las estaciones Muelle de Cabotaje (calle 10), F. Manzanares, y F. Gaira, se presentaron condiciones inadecuadas, debido a altas concentraciones de fosfatos, Coliformes Termotolerantes, nitratos y clorofila a que podrían afectar la preservación de la fauna y flora presentes, destacando la necesidad de una atención y gestión específica en esas áreas para mejorar las condiciones ambientales.

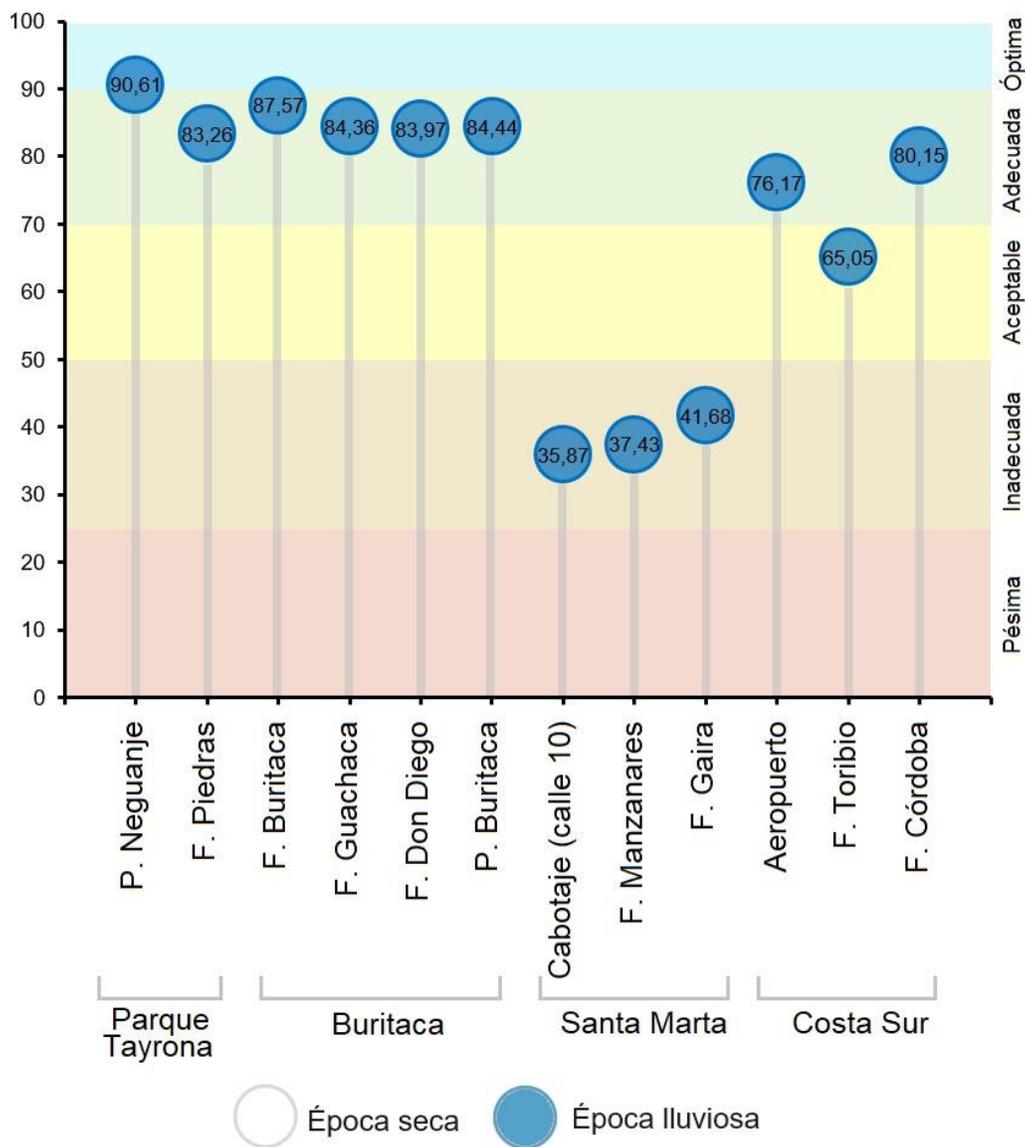


Figura 32. Calidad de agua superficial ICAM para época lluviosa (muestreo en octubre) del 2023, en las estaciones marinas y costeras del departamento del Magdalena.

En las estaciones ubicada en la zona del Parque Tayrona, Buritaca, Santa Marta y Costa Sur, se registraron concentraciones de carbono orgánico total (COT) que oscilaron entre 3,43 y 6,6 mg COT/L (Figura 33). Se observó un ligero aumento de la concentración de COT desde la zona norte hacia la zona sur, alcanzando la mayor concentración en la estación Cabotaje (Calle 10). En general, estos valores fueron superiores a los reportados en el año 2022 en la época lluviosa (INVEMAR, 2023a).

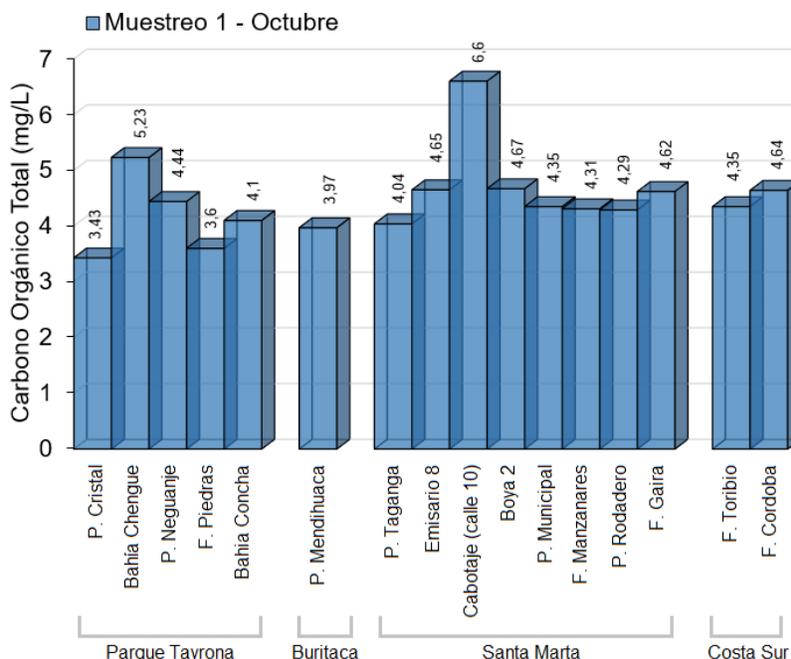


Figura 33. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en 2023 en el departamento del Magdalena. Barras azules representan la época lluviosa.

La calidad del agua para uso recreativo se determinó a partir de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT), contrastados con los límites permisibles para uso recreativo de contacto primario establecidas en la legislación nacional (<200 NMP/100 mL de CTE, <1.000 NMP/100 mL de CTT; MinAmbiente, 2015); y las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE), contrastados con los valores de referencia establecidos por la Unión-Europea (2006) (<100 UFC/100 mL de EFE).

En el muestreo del año 2023, las estaciones de la zona del Parque Tayrona, Buritaca, Santa Marta y Costa Sur, presentaron concentraciones de CTE y CTT por debajo del límite permisible para contacto primario (CTE= 200 NMP/100 mL o 2,3 log NMP/100 mL, y CTT= 1.000 NMP/100 mL o 3 log NMP/100 mL) (Figura 34), con excepción de Río Don Diego, Río Buritaca, Río Guachaca, Río Mendiñuaca, Río Piedras, Emisario 8, Cabotaje (calle 10), Río Manzanares (Pte Mayor), P. Rodadero, Río Gaira, F. Río Gaira, P. Salguero, Pozos Colorados, Aeropuerto Santa Marta, Río Toribio, F. Río Toribio y Río Córdoba para CTE y CTT y F. Río Guachaca y Playa Municipal para CTT. En general, todos los ríos presentaron altas concentraciones de CTE, siendo los ríos Guachaca y Gaira los que presentaron las mayores concentraciones (92.000 NMP/100 mL), seguidos por Río Manzanares 54.000 NMP/100 mL y Río Toribio 35.000 NMP/100 mL. Estos resultados se atribuyen a la influencia de actividades ganaderas, comercio, turismo y urbanas en estas áreas, que podrían generar una carga contaminante debido a actividades antrópicas. Esta situación es consistente con lo observado en el año 2022, donde los ríos reportaron las mayores concentraciones de CTE y CTT durante la época de lluvias, asociado a procesos de escorrentías que arrastran microorganismos provenientes de excretas humana y animales como el ganado (INVEMAR, 2023a).

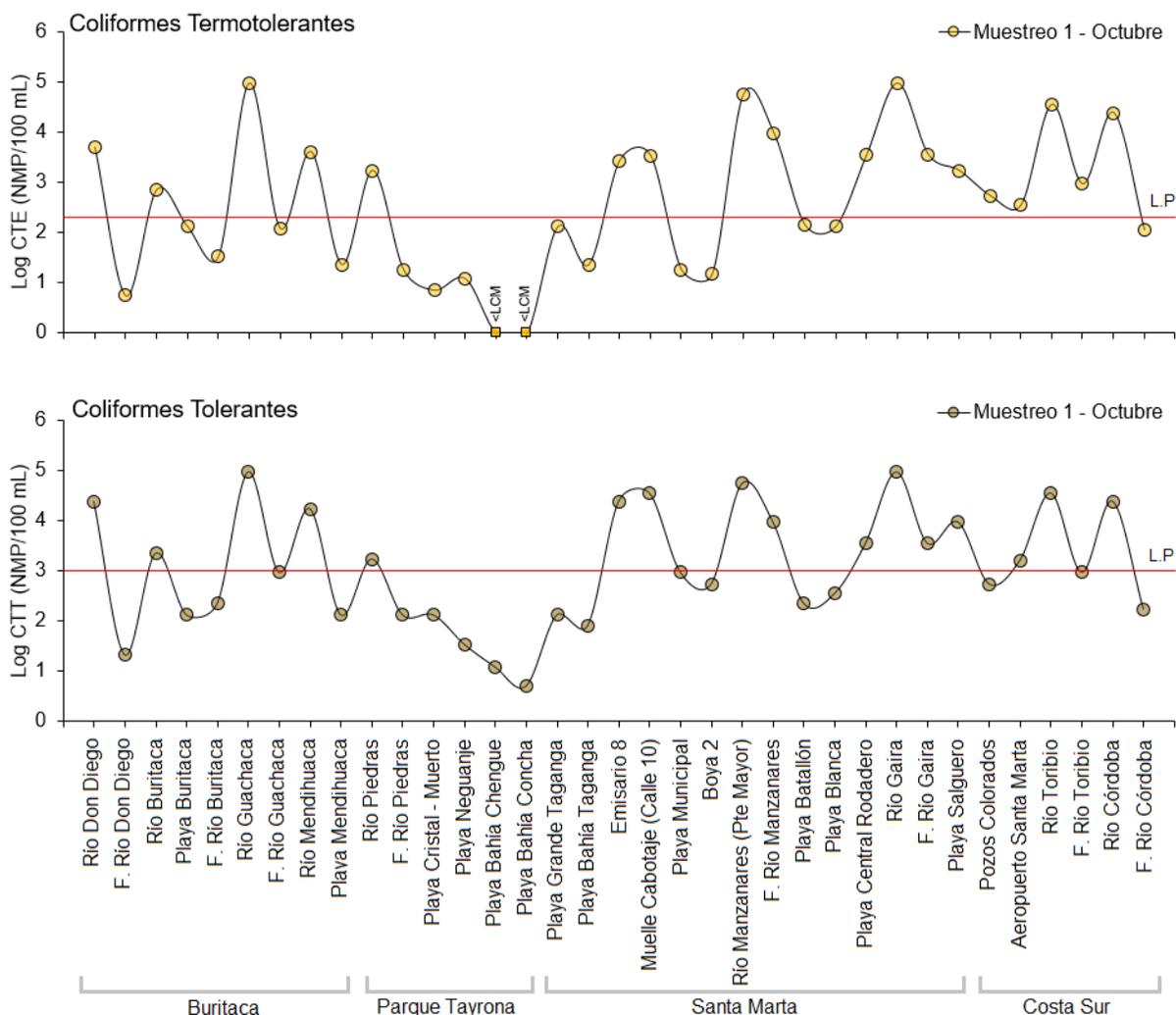


Figura 34. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Magdalena, muestreo del 2023. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permisible.

Con respecto a EFE, todas las estaciones presentaron concentraciones por debajo del valor de referencia propuesto por la Unión Europea (100 UFC/100 mL o 2 log UFC/100 mL; [Unión-Europea, 2006](#)) y el valor de referencia propuesto por la [OMS \(2003\)](#) de >40 UFC/100 mL que representa un riesgo >1% y de 0,3% de contraer enfermedades Gastrointestinales y respiratoria febril aguda respectivamente (Figura 35), con excepción de las estaciones Cabotaje (calle 10) y Playa Municipal, donde se presentó una concentración por encima del valor de referencia propuesto por la [OMS \(2003\)](#).

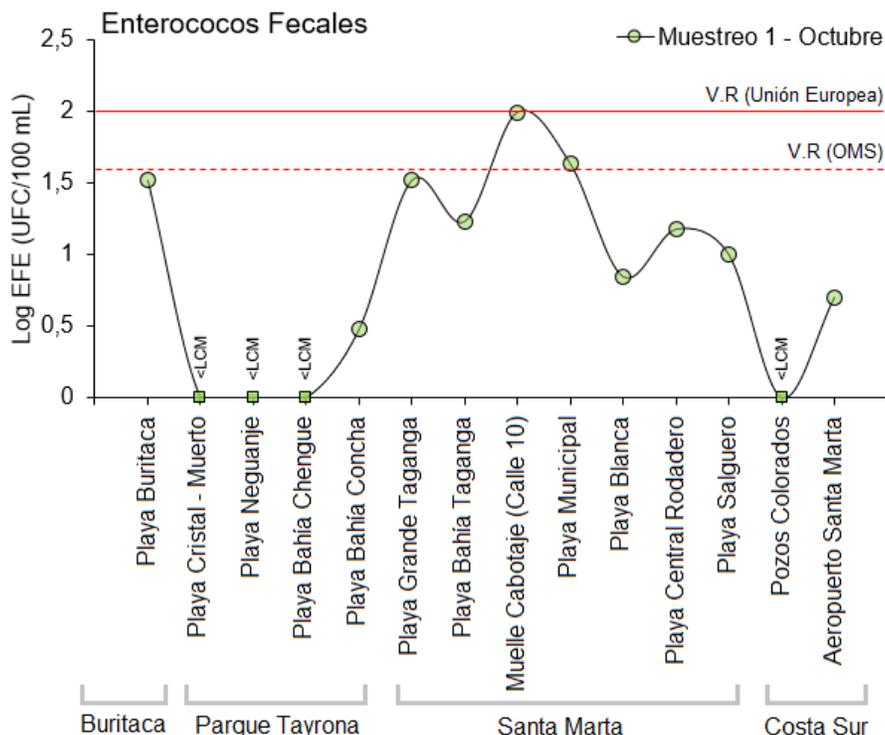


Figura 35. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Magdalena 2023. Línea roja: valor de referencia del límite permisible 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL; Unión-Europea 2006) y la línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL; OMS, 2003). V.R: Valor de referencia.

El análisis histórico (2002-2023) mostró que las estaciones han presentado fluctuaciones con niveles alto, medio y bajo, con excepción de P. Blanca y P. Neguanje, que han mantenido consistentemente niveles de cumplimiento alto y medio (Figura 36). A nivel histórico, las estaciones P. Grande, P. Taganga, P. Municipal, P. Batallón, P. Salguero, P. Rodadero, Pozos Colorados, Aeropuerto, Bahía Concha, P. Mendihuaca y P. Buritaca han registrado concentraciones medias de CTE que superan los límites establecidos para contacto primario y secundario establecidos por la legislación nacional (MinAmbiente, 2015). Particularmente, en P. Batallón las concentraciones medias históricas de CTE han superado los valores máximos permisibles para contacto primario y secundario; mientras que en las demás estaciones se han registrado concentraciones de CTT superiores a los límites permisibles, lo que sugiere una posible asociación con vertidos de aguas residuales domésticas sin tratamiento previo (INVEMAR, 2023a). En el año 2023 se observó una mejoría en P. Grande, P. Municipal, P. Batallón, Aeropuerto, P. Mendihuaca y P. Buritaca; en contraste, se presentó un deterioro en la calidad microbiológica en P. Rodadero, Pozos Colorados y Aeropuerto con respecto al año 2022.

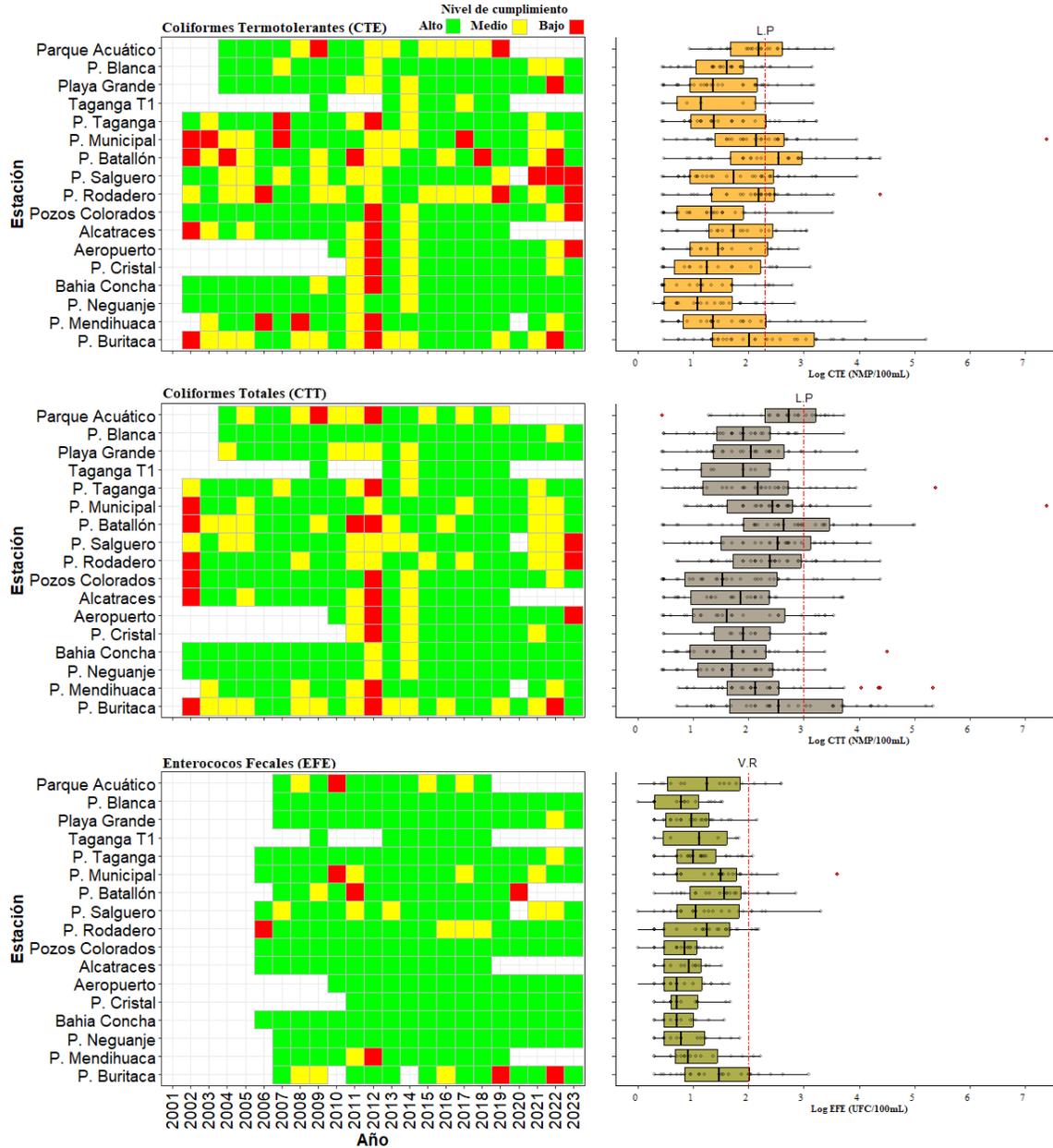


Figura 36. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento del Magdalena. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 50 y $< 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Bajo, cuando menos del 50% ($< 50\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. L.P: Límite permisible. V.R: Valor de referencia.

CALIDAD DE SEDIMENTOS MARINOS Y COSTEROS:

Los análisis de granulometría en las muestras de sedimentos colectadas en la época lluviosa, en las estaciones F. Manzanares y Cabotaje (calle 10), fueron de tipo limo grueso, con tamaños medios del grano menores a 63 μm (Figura 37). Los resultados de la estación F. Manzanares son similares a los reportados en el año 2022; mientras que la estación Cabotaje (calle 10) contrasta con lo reportado en el año 2022, donde la muestra de sedimento se clasificó como tipo de arena muy fina con un tamaño medio del grano de 97,03 (INVEMAR, 2023a).

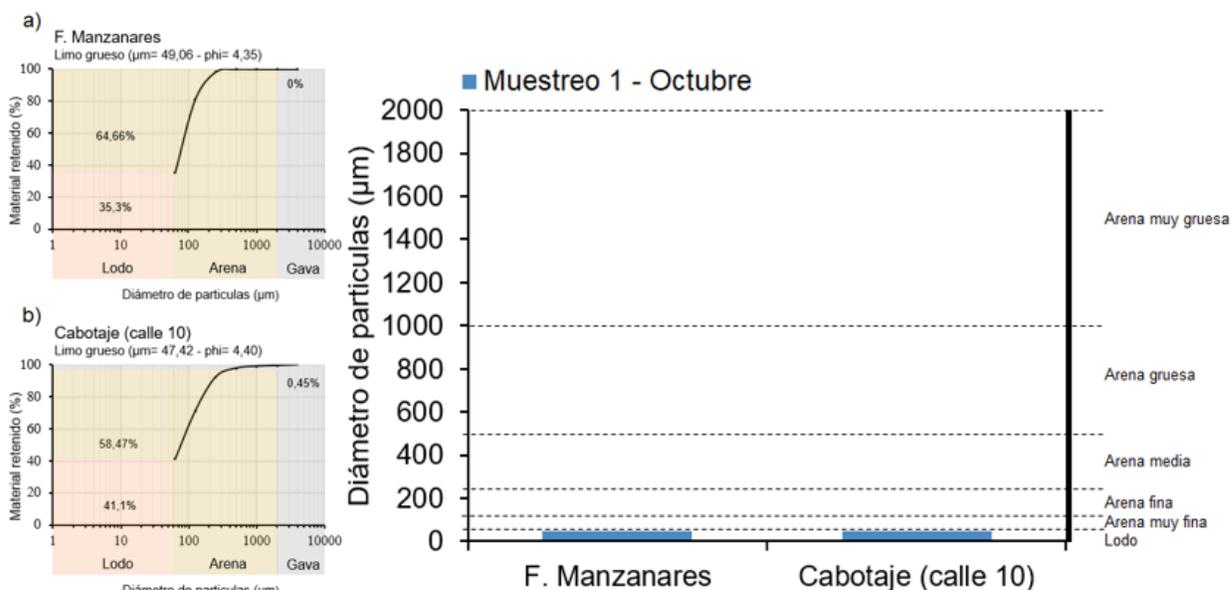


Figura 37. Tamaño medio de partícula del sedimento (μm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en el 2022 en el departamento del Magdalena. Las barras azules representan la época lluviosa. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk & Ward (1957).

En la estación Cabotaje (calle 10), las concentraciones de Cu, Pb y Zn en los sedimentos colectados en el 2023, estuvieron por encima del valor de referencia para efectos umbral (TEL), 32 μg Cu/g, 30,2 μg Pb/g y 148 μg Zn/g (Buchman, 2008); para los metales Cr y Hg las concentraciones estuvieron por debajo del valor de referencia TEL, 25 μg Cr/g y 47,8 ng Hg/g. En la estación F. Manzanares, las concentraciones de Cu, Cr, Hg y Zn, estuvieron por debajo del valor de referencia TEL, 7,73 μg Cu/g, 28,3 μg Cr/g, 52,2 ng Hg/g y 80,1 μg Zn/g (Buchman, 2008) (Figura 38). Las concentraciones de Fe estuvieron entre 24,3 y 33,1 mg Fe/g en Cabotaje (calle 10) y F. Manzanares, respectivamente; y las concentraciones de Cd y Ni estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM (12,5 μg Cd/g y 75 μg Ni/g).

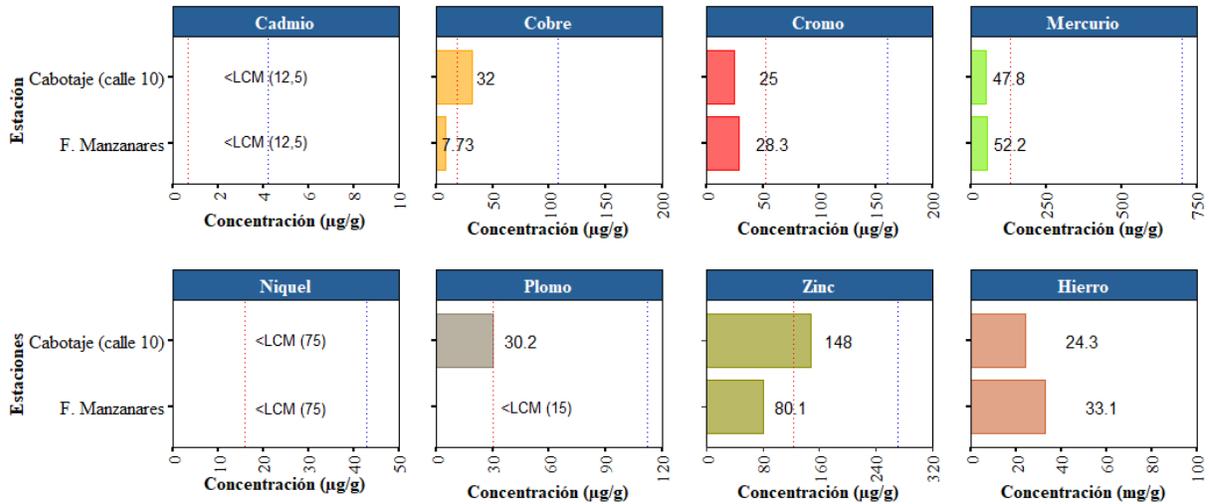


Figura 38. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos Cabotaje (calle 10) y F. Manzanares recopilados en octubre de 2023 (época lluviosa) en el departamento del Magdalena. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponde al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.

BASURA MARINA Y MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS TURÍSTICAS

La evaluación de seis playas turísticas del departamento del Magdalena mostró que, en la época lluviosa, la concentración de basura marina osciló entre 0,13 a 2,36 ítems/m²) (Figura 39). Las playas más afectadas fueron Playa Grande y Playa Municipal, las cuales se caracterizan por una intensa actividad comercial y turística. Específicamente, Playa Municipal, ubicada en la Bahía de Santa Marta, recibe las descargas del río Manzanares, así como de las aguas servidas de la calle 22 y del Muelle Cabotaje. Estas descargas arrastran desechos sólidos, siendo la principal causa de esta contaminación ([Garcés-Ordóñez et al., 2020a](#)). Aunque estos resultados mostraron una mayor concentración de basura marina en comparación con la época lluviosa del año 2022, se observó una disminución en P. Bahía Concha, Playa Blanca y Playa Rodadero. Esta reducción podría estar relacionada con las actividades de recolección de basura que corresponde al Programa de limpieza de Playa Rodadero, ejecutado por la empresa prestadora del servicio de aseo ([Atesa, 2022](#)). Por otro lado, en P. Bahía conca y Playa Blanca, la recolección de basura es realizada por la comunidad y asociaciones de turismo ([Garcés-Ordóñez et al., 2020a](#)), con el apoyo del control ejercido por parte de Parques Nacionales Naturales de Colombia en P. Bahía Concha.

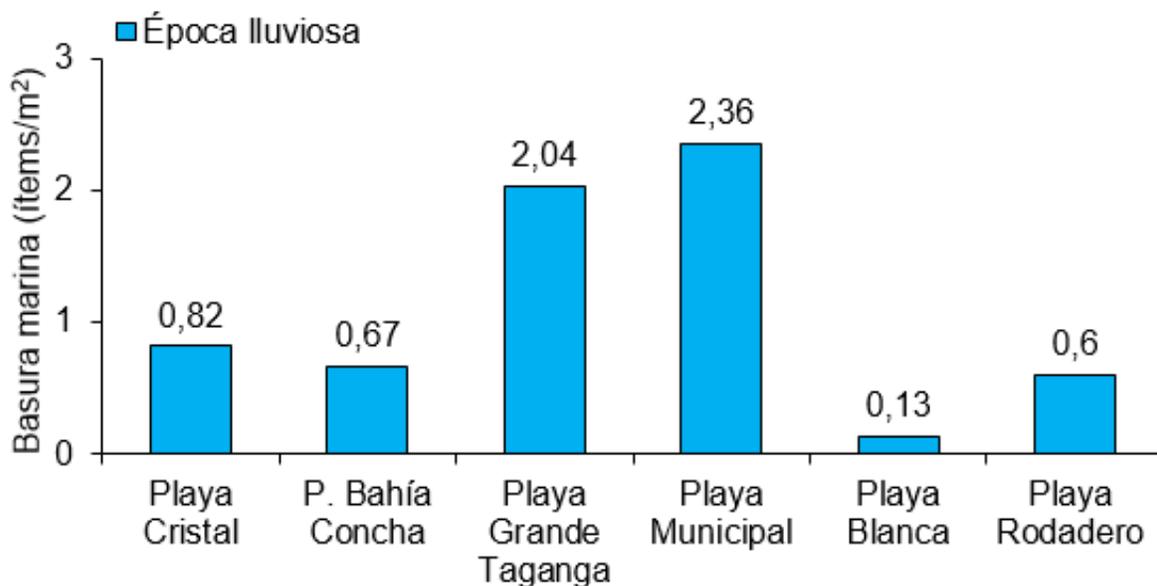


Figura 39. Abundancia de basura marina en las playas turísticas del Magdalena, registradas en el muestreo realizado en octubre del 2023.

Durante la época lluviosa, se observó que la composición predominante de la basura marina en todas las playas fue el material plástico, representando un 93,62% del material recolectado, seguido por el metal con un 5,03% (Figura 40). Este resultado resalta la persistencia de los plásticos como uno de los materiales más abundantes de la basura marina. Esta situación se debe a la producción masiva, el amplio uso y las características de alta persistencia en el ambiente de los plásticos, lo cual, junto con una gestión inadecuada de residuos, facilita su acumulación en las zonas costeras y tiene un impacta negativo en el entorno (Iñiguez *et al.*, 2016).

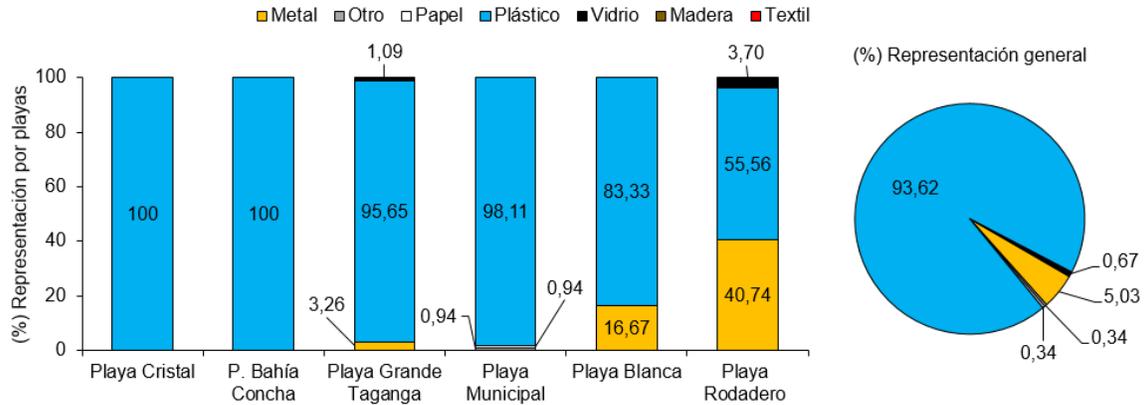


Figura 40. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de basura marina en las playas turísticas del Magdalena, evaluadas en: septiembre del 2023.

La cuantificación y el análisis de la contaminación por microplásticos se realizó para seis (6) playas turísticas del departamento del Magdalena; Cristal, Bahía Concha, Municipal, Rodadero, Blanca y Playa Grande Taganga muestreadas en octubre de 2023. Los microplásticos (partículas plásticas inferiores a los 5 mm), se encontraron en todas las playas turísticas muestreadas en el Magdalena con diferentes abundancias, en las que oscilaron entre 8,8 y 3.705,6 ítems/m². La mayor concentración de microplásticos se presentó en la estación Playa Grande Taganga con 3.705,6 ítems/m², seguido de la estación en la playa Municipal con 270,4 ítems/m². Las playas turísticas con menor abundancia correspondieron a Cristal (77,6 ítems/m²), Bahía Concha (59,2 ítems/m²), Rodadero (24,8 ítems/m²) y Blanca (8,8 ítems/m²) (Figura 41).

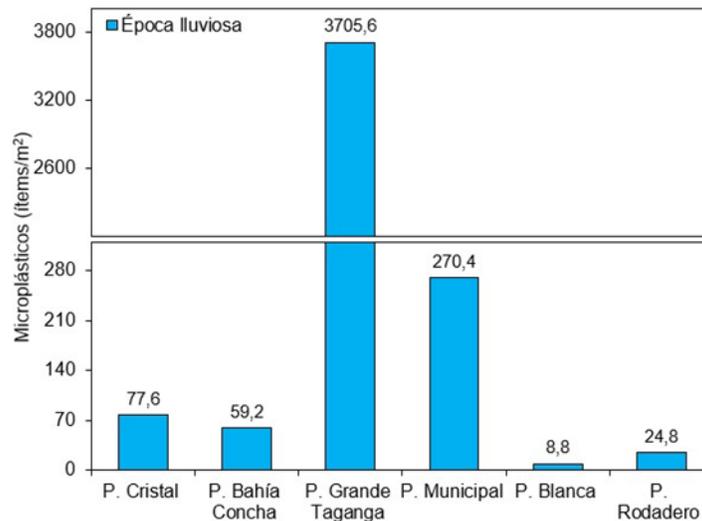


Figura 41. Abundancia de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas del Magdalena, colectadas el 31 de octubre de 2023.

Los resultados de la abundancia de microplásticos en la época lluviosa de 2023 en las playas turísticas del Magdalena (8,8 – 3.705,6 ítems/m²) (Figura 41) son mayores a los de los últimos años registrados (8 – 292 ítems/m², 2021 y 3,2 - 46 ítems/m², 2022), incluso al promedio reportado en el 2017 para la Región Caribe de 0,0 - 676 ítems/m². 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 (51,31%) y espumas (41,73%), en menor proporción se encontraron; pellets (5,38%), películas (0,80%) y filamentos (0,78%) (Figura 42).

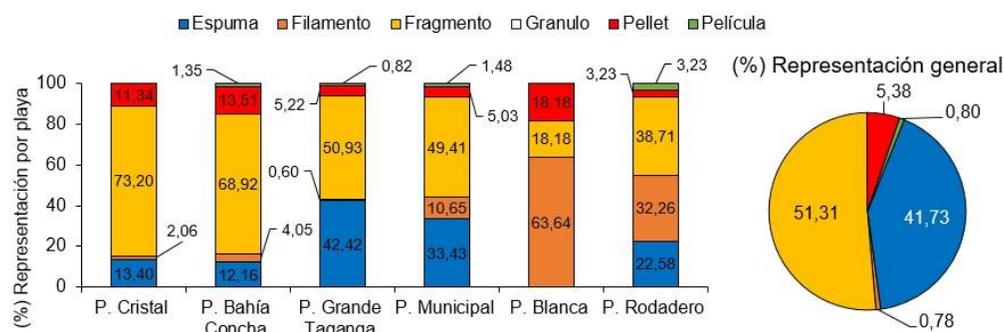


Figura 42. Porcentajes de la representación de microplásticos caracterizados según su forma a partir de muestras de arena de playa turísticas del Magdalena, colectadas el 31 de octubre de 2023.

Las playas con mayor contaminación continúan siendo Playa Grande Taganga y Playa Municipal (Figura 43), playas que en los años 2021 y 2022 también registraron la mayor cantidad de microplásticos (entre 100 a 150 ítems/m²) en la época lluviosa ([INVEMAR, 2022](#)). En la playa Municipal, desemboca el río Manzanares siendo una fuente importante de basuras en las épocas lluviosas, la cual tendría sinergia con los aportes de turistas en las zonas de playas en temporadas de alto turismo ([Cole et al., 2011](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2020a](#)). Además, 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". No obstante, el porcentaje de ocurrencia de fragmentos (51,31%), ha disminuido respecto al [2022](#) (63,0 %) y es menor al documentado en el [2017](#) para el Caribe de 71%. Lo que ha incurrido en un aumento del porcentaje de espumas del 23,9% para el 2022 a 41,73% en el 2023, lo cual puede deberse a un incremento en el uso de desechables, debido a la intensa actividad comercial y turística que se dan en estas playas ([Garcés-Ordóñez et al., 2020a](#)). El poliestireno expandido, es uno de los tipos de polímeros, que por su propiedad flotante liviana aumenta sus posibilidades de erosionarse por abrasión e irradiación ultravioleta (UV), lo que da como resultado un aumento en los microplásticos y su impacto negativo en los ecosistemas acuáticos ([Jeon et al., 2023](#)).



Figura 43. Basura marina y microplásticos observados en Playa Grande Taganga en el departamento del Magdalena en el mes de octubre de 2023.

La prevalencia en la abundancia de microplásticos de origen secundario sobre las de origen primario en arenas de playa del Magdalena, han sido reportados por [Garcés-Ordóñez et al. \(2020b\)](#), donde el origen secundario es el más abundante a causa de actividades como la pesca y el turismo. Además, se debe considerar el deficiente manejo de residuos municipales que pueden ser transportados por los ríos hasta el mar ([Daniel et al., 2020](#)). Este fenómeno, 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 primario, se asocia a que los macrolásticos 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](#)).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La calidad del agua marina y costera determinada mediante el ICAM en las estaciones de la zona de Santa Marta (Cabotaje (calle 10), F. Manzanares y F. Gaira), y en la estación F. Gaira durante la época lluviosa del 2023, fue inadecuada, debido a las concentraciones de nutrientes y Coliformes provenientes del río Manzanares y las aguas servidas que impactan negativamente las estaciones de la bahía de Santa Marta; en la zona estación F. Gaira, la calidad inadecuada podría estar relacionada con vertimientos de aguas residuales y otras fuentes de contaminación asociadas al aumento de las actividades recreativas de sol y playa.
- En el año 2023, se evidenció un deterioro de la calidad microbiológica de las playas turísticas P. Salguero, P. Rodadero, Pozos Colorados y Aeropuerto. Estas playas, ubicadas en áreas urbanas, enfrentan una alta afluencia de actividades recreativas masivas y son especialmente vulnerables a las aguas residuales y escorrentías que arrastran contaminantes y residuos, contribuyendo a la contaminación microbiológica. La situación en estas playas de uso turístico muestran la urgencia de un monitoreo continuo y medidas inmediatas para mejorar los sistemas de tratamiento de aguas residuales para preservar la salud de los turistas y el ecosistema marino.
- En la arena de las seis (6) playas turísticas muestreadas en el departamento del Magdalena en octubre del año 2023, se registró la presencia de microplásticos tanto de origen primario como secundario; presentándose mayores abundancias en playa Grande Taganga y Playa Municipal. Estas condiciones muestran la incidencia de las actividades antrópicas que se desarrollan en la zona marino-costera del departamento del Magdalena, especialmente las actividades socioeconómicas y turísticas por el uso de plásticos de un solo.



DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO

*Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR*

9. ATLÁNTICO

El departamento del Atlántico presenta una franja litoral en el Mar Caribe, que se extiende desde Bocas de Ceniza hasta las salinas de Galerazamba, abarcando aproximadamente 90 km. Su clima, influenciado por los vientos alisios, se caracteriza por ser seco, cálido árido y semiárido, con temperaturas medias entre 28 y 30°C, y un régimen de lluvias bajo según [Gómez-Cubillos et al. \(2015\)](#).

Con el objetivo de realizar una evaluación detallada, la zona costera del Atlántico se subdividió en tres regiones: río Magdalena, Puerto Colombia y Tubará-Acosta, cada una con características paisajísticas y socioeconómicas características (Figura 44). La zona del río Magdalena abarca parte de la cuenca baja del río Magdalena y la Ciénaga de Mallorquín, siendo escenario de actividades portuarias, agrícolas y turísticas, con la presencia de vertimientos de aguas residuales de Barranquilla y Soledad. La franja costera de la zona de Puerto Colombia, se destaca por su enfoque en el turismo. La zona de Tubará-Acosta corresponde a la franja costera de los municipios de Juan de Acosta y Turbará, que se caracteriza por una baja cobertura de alcantarillado, presencia de ciénagas y algunas playas de interés turístico.

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, ubicadas en las zonas de Puerto Colombia y Tubará – Acosta; el 35% a agua dulce, en 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; el 6% a aguas estuarinas, en las estaciones de Arroyo León y C. Mallorquín-Playa; y el 6% a agua salmuera, correspondiente a la estación Rincón Hondo (Figura 45).

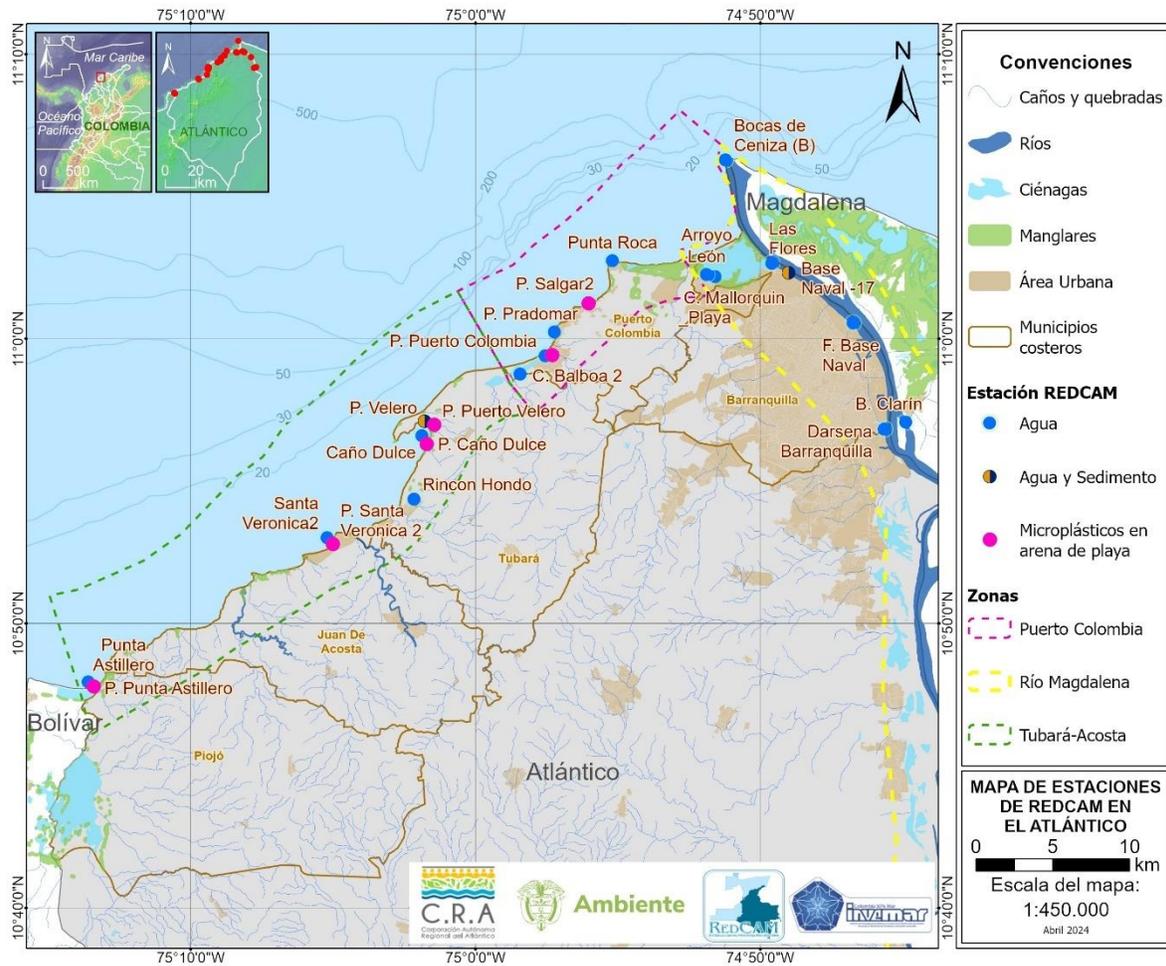


Figura 44. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento del Atlántico. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

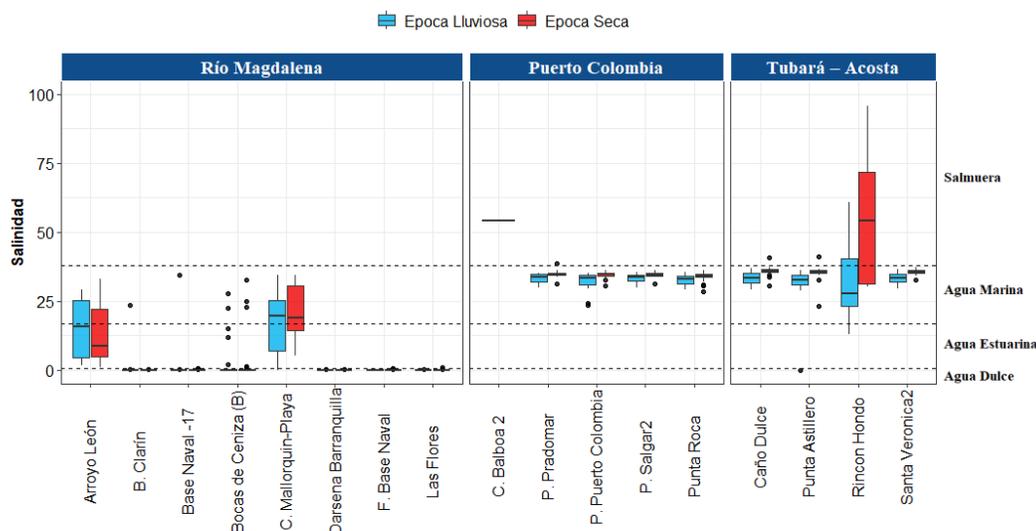


Figura 45. Variación histórica (2001- 2023) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM del departamento de Atlántico, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas 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).

El cálculo del ICAM para la preservación de flora y fauna se realizó en 9 estaciones del departamento del Atlántico, monitoreadas en septiembre de 2023 (época seca); estaciones que cumplen con los criterios para aplicar el ICAM en aguas marinas y estuarinas ([Vivas-Aguas et al., 2022](#)). De las 9 estaciones evaluadas, el 44% estuvieron en calidad adecuada, un 22% en calidad aceptable, un 22% en calidad inadecuada y un 11% en calidad pésima.

Los resultados del 2023 revelaron que la calidad del agua superficial en las estaciones Punta Roca, P. Puerto Colombia, Playa Velero y Punta Astillero era adecuada; en las estaciones C. Mallorquín y P. Salgar aceptable, evidenciando una mejoría con respecto al muestreo del año 2022 en época seca, cuando la calidad del agua osciló entre inadecuada y pésima ([INVEMAR, 2023a](#)). En la estación Arroyo León la calidad del agua fue pésima y en las estaciones Bocas de Ceniza y Ciénaga Balboa 2, la calidad fue inadecuada (Figura 46). La 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 actividades que causan 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 lado la incidencia del río Magdalena que arrastra altas cargas contaminantes. Estos resultados muestran que 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.

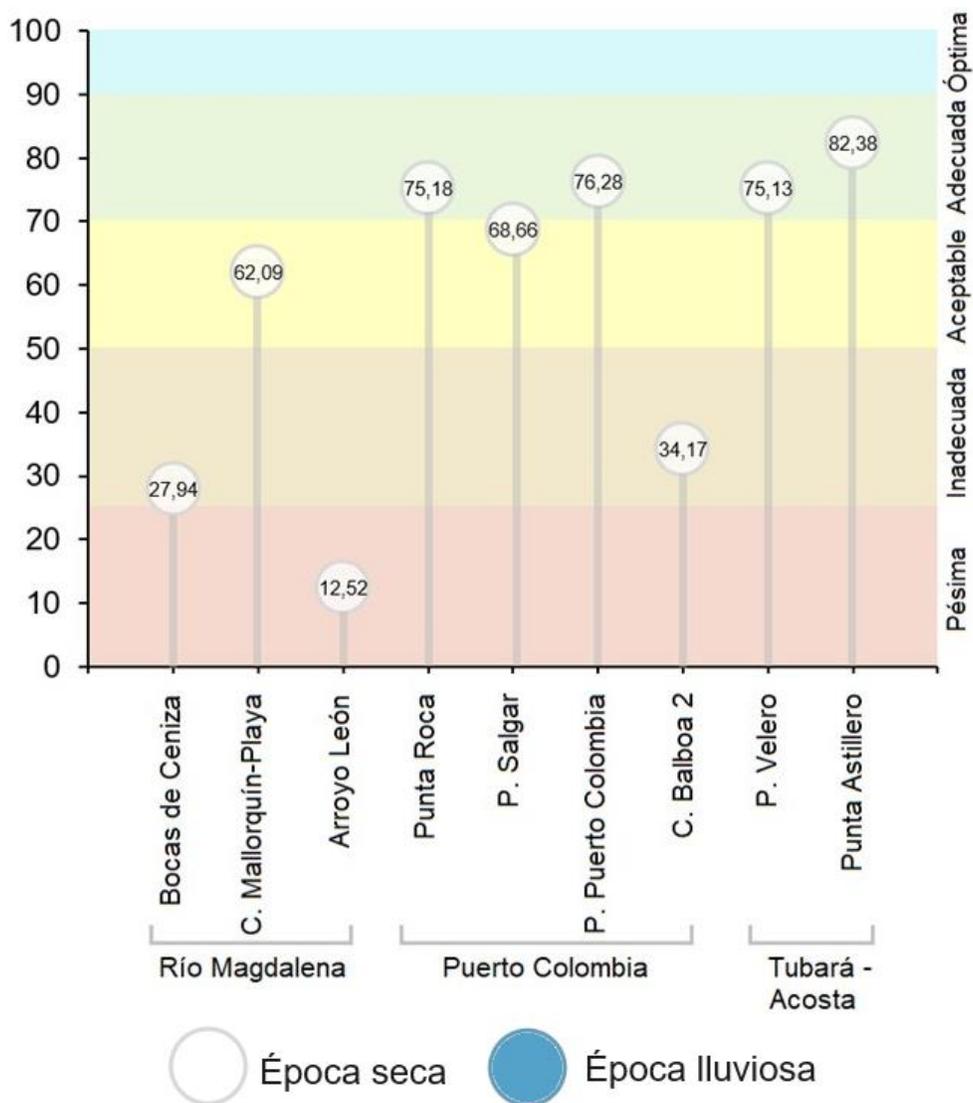


Figura 46. Calidad de agua superficial ICAM para época seca (muestreo en septiembre) del 2023, en las estaciones marinas y costeras del departamento del Atlántico.

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 47). 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.

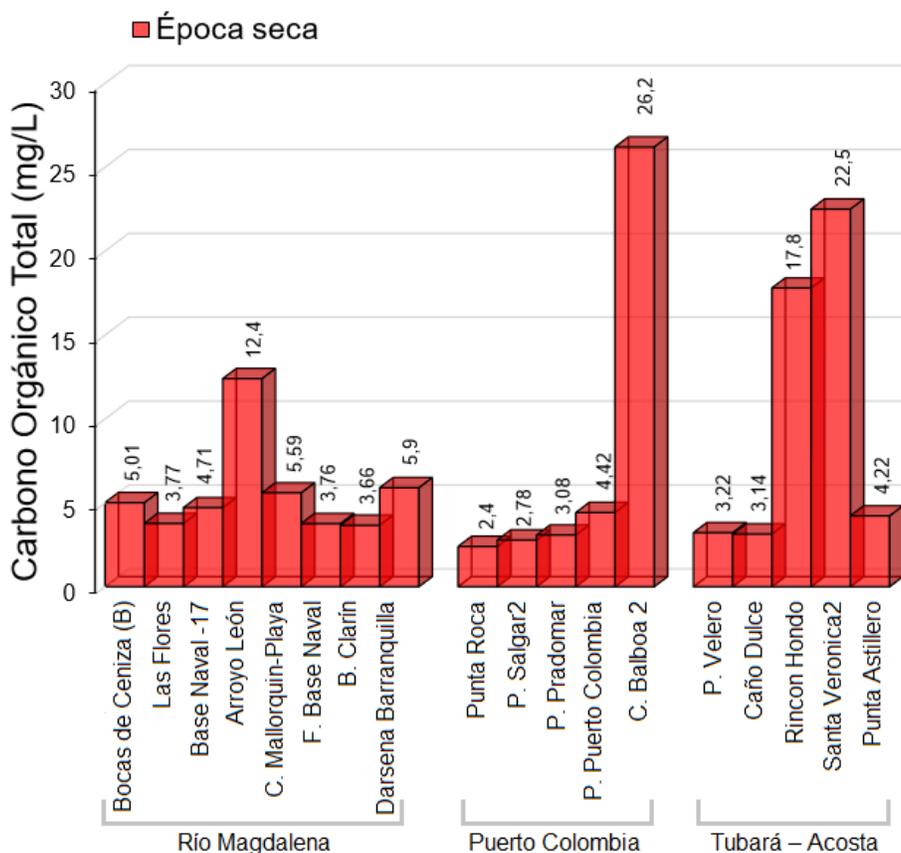


Figura 47. Carbono orgánico total (COT) de las muestras de agua recopiladas en época seca (muestreo en septiembre) del 2023 en el departamento del Atlántico.

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 48) en las estaciones de Rincón Hondo, P. Veleiro, 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 µg/L) y de aguas marinas contaminadas (>10 µg/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, 2019a). Desde el 2015 al 2022 los valores de HPDD han oscilado entre 0,075 µg/L a 10,4 µg/L (INVEMAR, 2022), por lo que los registrados en el presente monitoreo, se encuentra dentro de los reportados anteriormente.

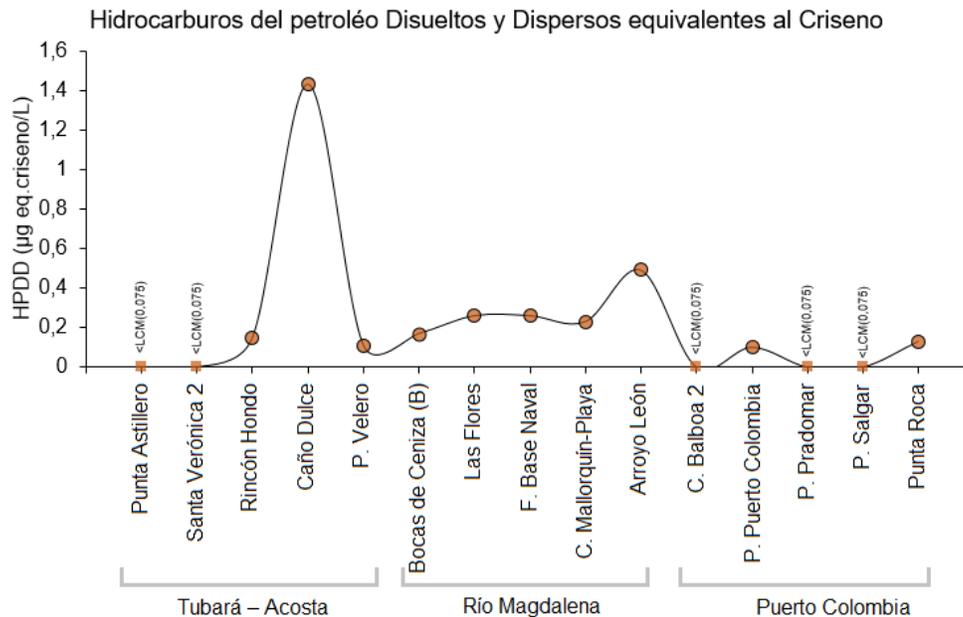


Figura 48. Concentración de Hidrocarburos del petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de Criseno (HPDD) en el agua superficial de las estaciones del departamento del Atlántico durante la época seca (septiembre de 2023).

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 <math><200\text{ NMP}/100\text{ mL}</math> de CTE, <math><1.000\text{ NMP}/100\text{ mL}</math> de CTT (MinAmbiente, 2015); y EFE contrastados con los valores de referencia internacional de <math><100\text{ UFC}/100\text{ mL}</math> (Unión-Europea, 2006).

Las estaciones de P. Puerto Colombia, P. Pradomar y P. Salgar 2 (Figura 49) 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).

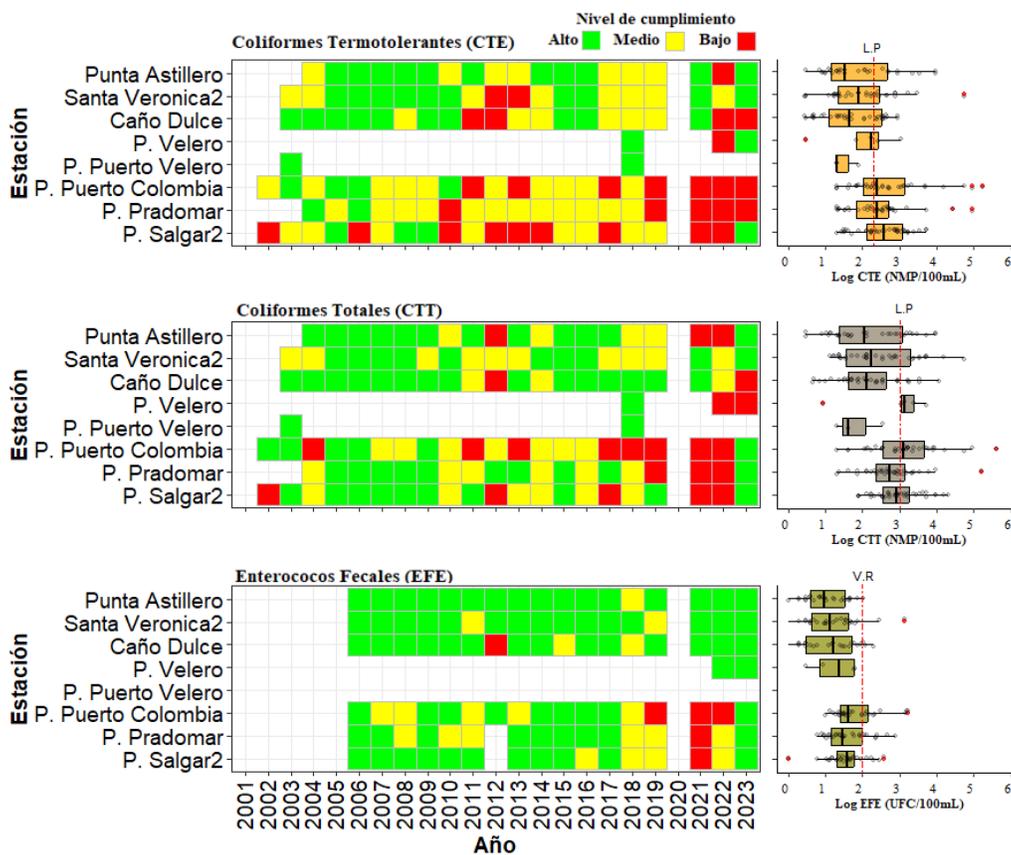


Figura 49. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Atlántico. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: 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. V.R: Valor de referencia.

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 50); 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.

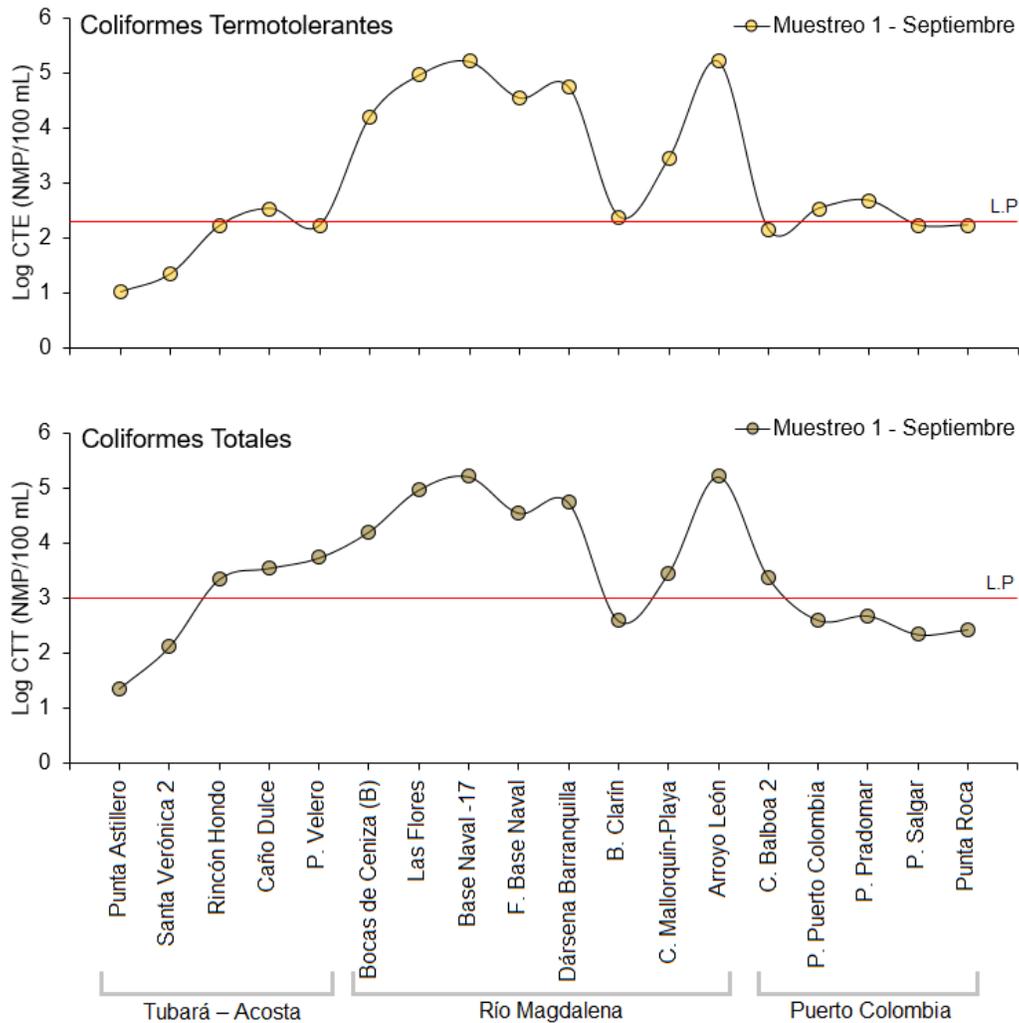


Figura 50. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Atlántico. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permisible.

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 51). 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.

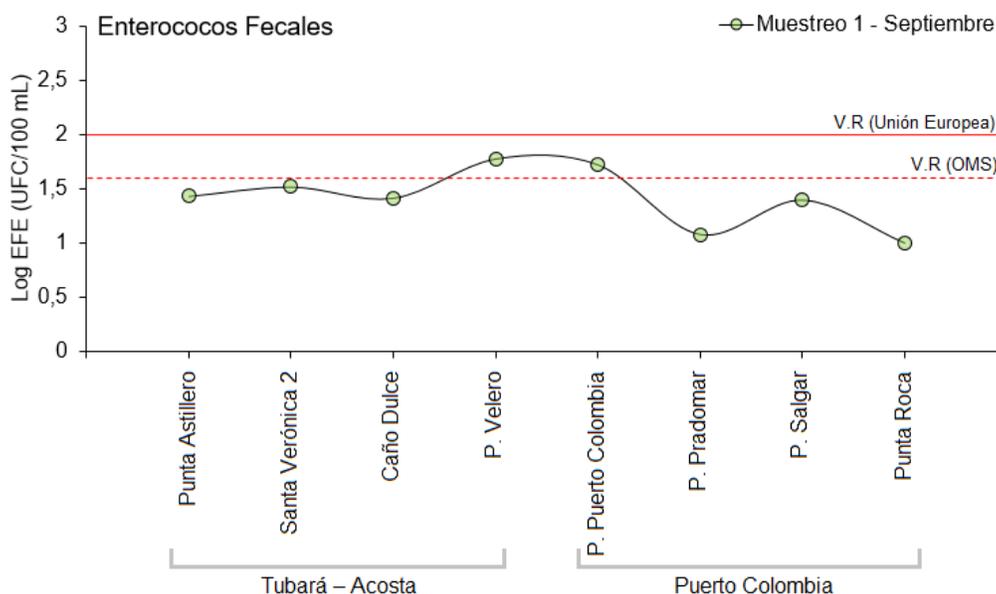


Figura 51. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Atlántico. Línea roja: valor de referencia del límite permisible 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL; Unión Europea 2006) y la línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL; OMS, 2003). V.R: Valor de referencia.

En relación a los metales disueltos en agua, en las estaciones Las Flores, F. Base Naval y Bocas de Ceniza (B) de la zona Río Magdalena que tienen características de agua dulce, se registraron concentraciones de zinc (Zn) entre 23 a 32,8 $\mu\text{g/L}$ y hierro (Fe) entre 110 y 151 $\mu\text{g/L}$, registros que están por debajo del valor de referencia para efectos crónicos (>120 y >1.000 $\mu\text{g/L}$ 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 $\mu\text{g/L}$ para Cd, 2,5 $\mu\text{g/L}$ para Cu, 100 $\mu\text{g/L}$ para Cr, 5 $\mu\text{g/L}$ para Cr^{+6} , 0,3 $\mu\text{g/L}$ para Hg, 7,5 $\mu\text{g/L}$ para Ni y 12,5 $\mu\text{g/L}$ para Pb; Figura 52).

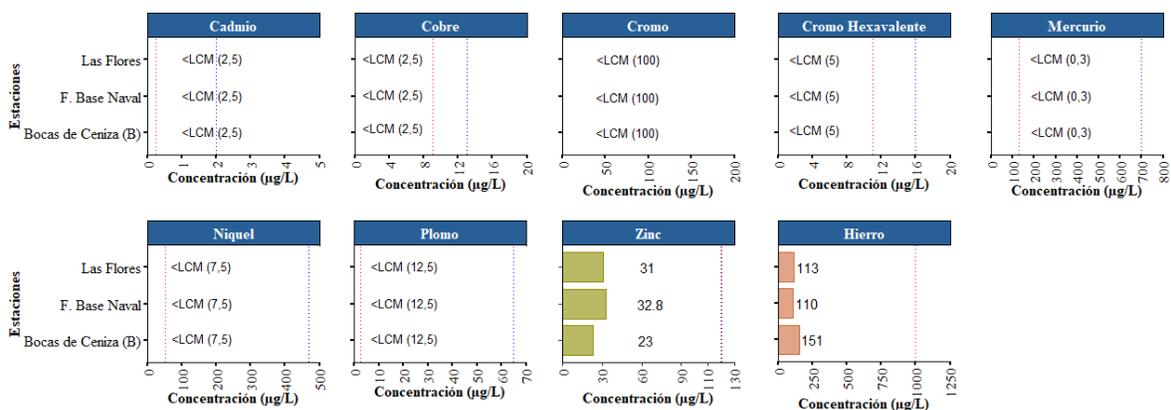


Figura 52. Concentración de metales disueltos en agua en las estaciones de agua dulce del departamento del Atlántico, colectadas en septiembre del 2023. Los valores de referencia para efectos crónicos y efectos agudos se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). Las líneas verticales 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.

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.

CALIDAD DE SEDIMENTOS MARINOS Y COSTEROS:

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 53). En base a la metodología de Folk & Ward (1957), la muestra de sedimento se clasificó como tipo Arena Fina, con un diámetro de partícula de 137,8 µm (Figura 54), 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).

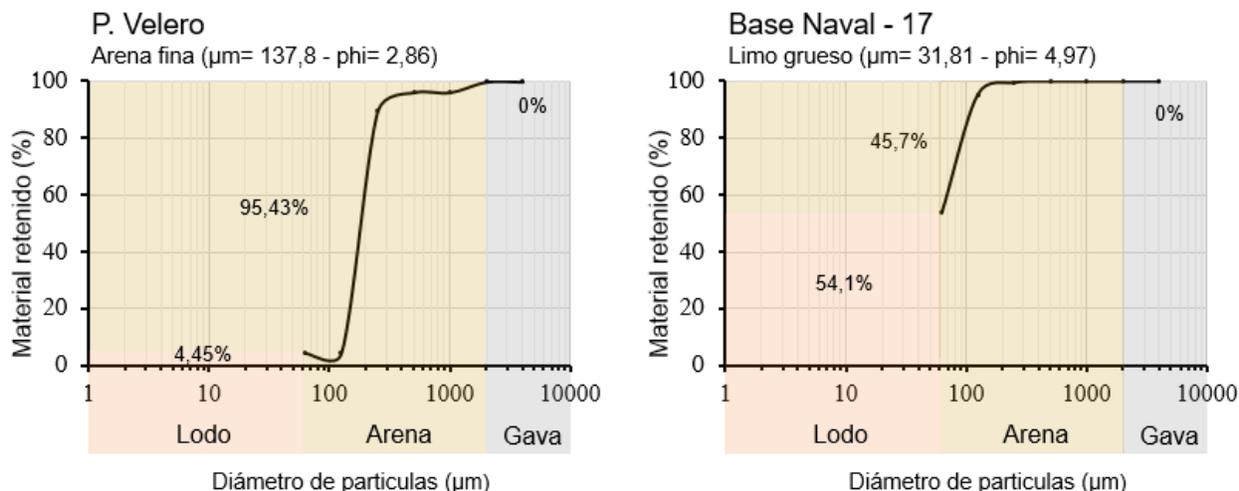


Figura 53. Curva granulométrica de las muestras de sedimentos recopiladas en el 2023 (septiembre), en la estación Puerto Velero y Base Naval-17 en el departamento del Atlántico.

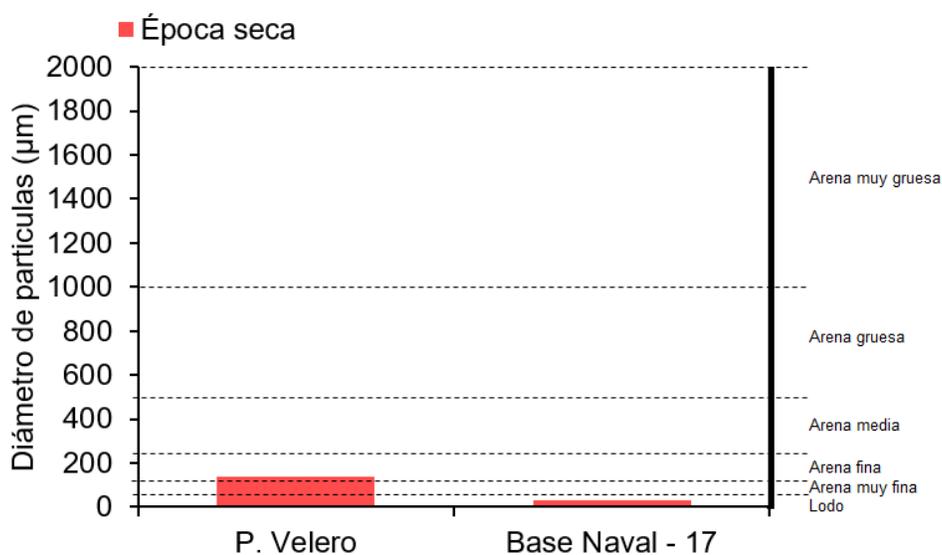


Figura 54. Tamaño medio de partícula del sedimento (μm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en septiembre del año 2023, en el departamento del Atlántico. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

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 55), 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 55). 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](#)).

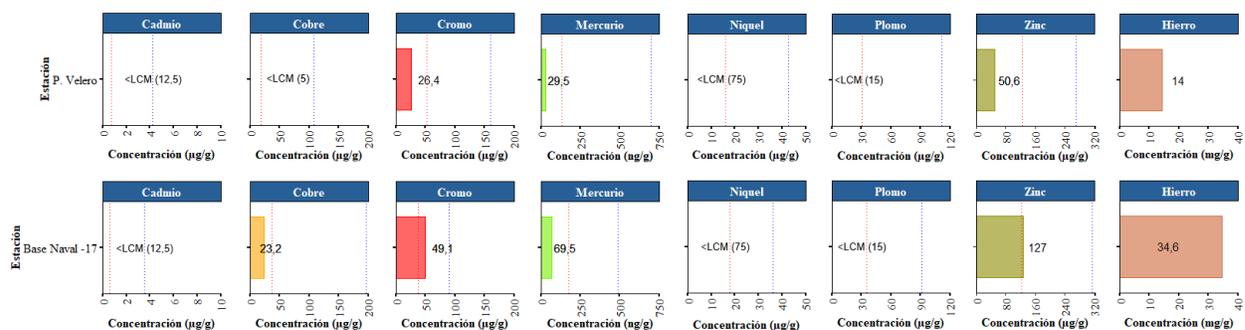


Figura 55. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos (P. Velero) y fluviales (Base Naval – 17) recopilados en septiembre de 2023 (época seca) en el departamento del Atlántico. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening 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.

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, Santa Verónica y Salgar (Figura 62), 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).

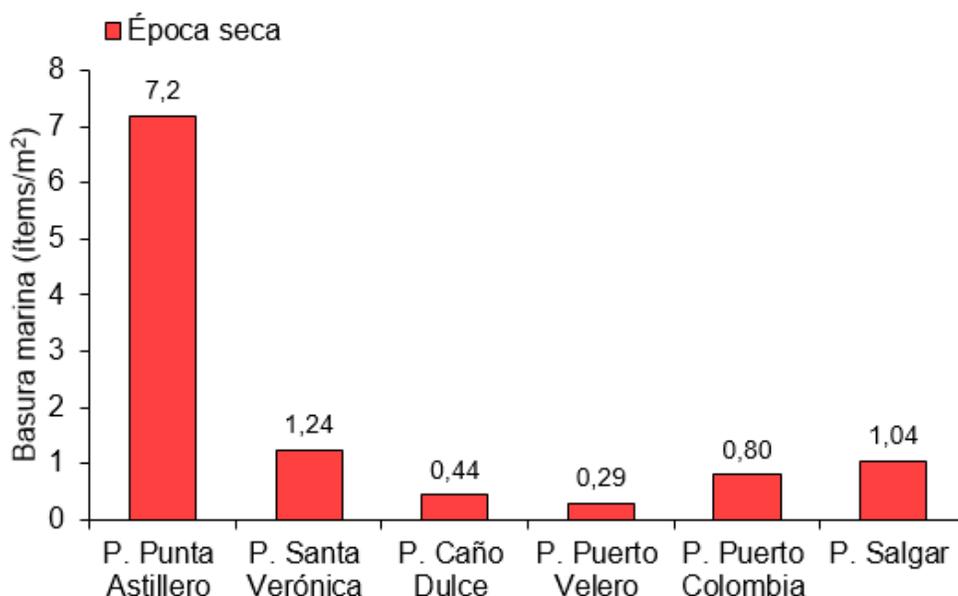


Figura 56. Abundancia de basura marina en las playas turísticas priorizadas del departamento del Atlántico, registrada en los muestreos llevados a cabo el 27 de septiembre de 2023.

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 63). 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 57).

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., 2020b; INVEMAR-CRA, 2023).

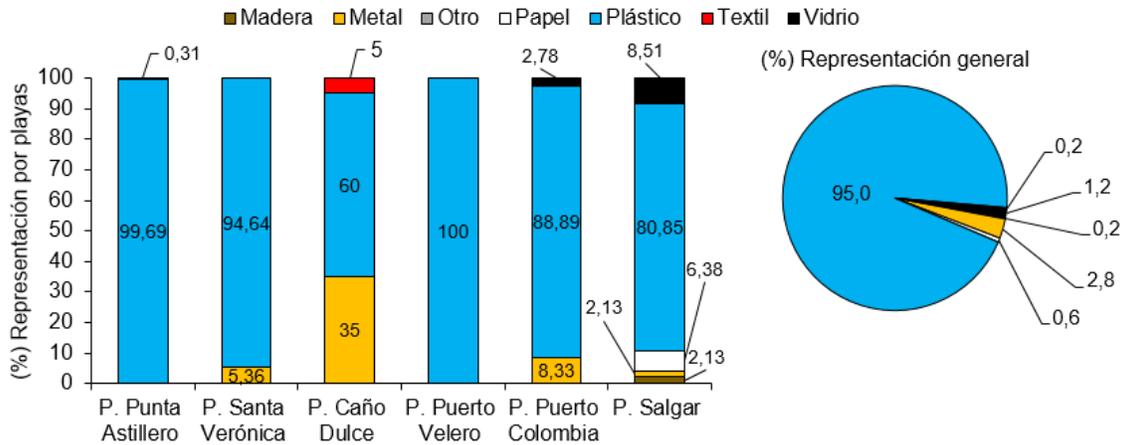


Figura 57. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de basura marina en las playas turísticas del Atlántico, evaluadas en los muestreos realizados el 27 de septiembre de 2023.

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 (Figura 58), seguida de la playa de Puerto Colombia, Santa Verónica y Salgar. 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.

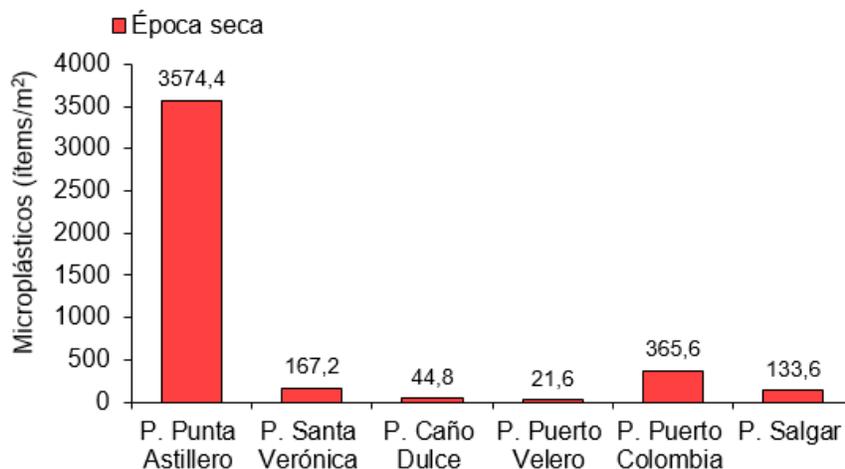


Figura 58. Abundancia de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas del Atlántico, colectadas el 27 de septiembre de 2023.

Los resultados de la abundancia de microplásticos para el mes de septiembre (época seca) de 2023 (Figura 58) 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., \(2020b\)](#) 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 59). 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 59. 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 60). 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.

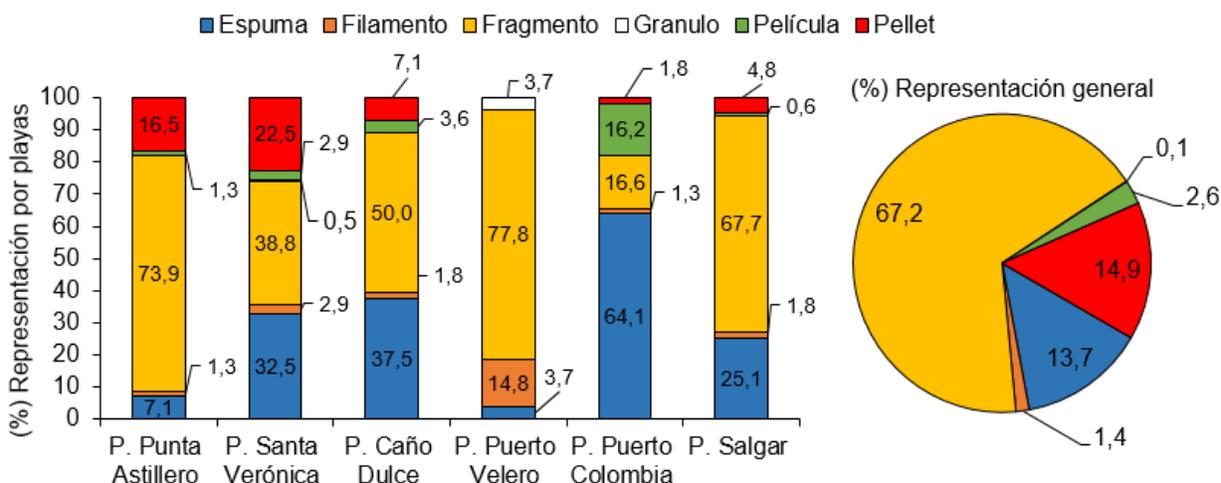


Figura 60. Porcentajes de la representación de microplásticos caracterizados según su forma a partir de muestras de arena de playa turística del Atlántico, colectadas el 27 de septiembre de 2023.

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., 2020b). 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., 2020b). 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.

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 enfatizado a la calidad microbiológica para identificar las fuentes e incidencias de contaminación que permitan tomar acciones que mejoren la calidad ambiental marina.
- Las concentraciones de los metales traza (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.



DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR

Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR
José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

10. BOLÍVAR

El departamento de Bolívar es un territorio con una riqueza en ecosistemas marinos que incluyen arrecifes coralinos en las islas de Rosario y San Bernardo, playas, manglares, humedales costeros y pastos marinos ([Afanador et al., 2021](#)). La Bahía de Cartagena se caracteriza por ser un cuerpo estuarino, conectado con el mar Caribe mediante dos bocas, Bocachica y Bocagrande, y una bahía interna en la parte norte sin comunicación directa con el mar ([Cañón et al., 2007](#); [Lonin et al., 2004](#)), en el que se descargan aguas continentales a través del Canal del Dique, que juega un papel crucial en la dinámica costera de este departamento ([Gómez & Suarez, 2019](#)). Por sus características y la cantidad de actividades antropogénicas que confluyen en la bahía de Cartagena, es considerada uno de los cuerpos de aguas más estudiados en Colombia en términos de contaminación.

Las estaciones REDCAM en Bolívar se distribuyen en cinco zonas (Figura 61). La zona Costa Norte, donde se encuentran playas y el emisario submarino de Punta Canoa; Bahía Afuera, con estaciones en las playas turísticas de Cartagena; la zona Bahía de Cartagena, compuesta por las bahías interna y externa, y el área donde desemboca el Canal del Dique; la zona Bahía de Barbacoas, donde desembocan caños conectados al Canal del Dique; y la zona de las Islas, que abarca las islas del Rosario y la isla Barú, donde hay áreas coralinas de gran importancia ambiental ([Alonso et al., 2015](#)).

El análisis histórico de la salinidad del agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, monitoreadas entre el 2001 y el 2023, permitieron clasificar los tipos de agua según los valores de salinidad propuestos por [Knox \(2001\)](#). El 82% de las estaciones REDCAM de las zonas Costa Norte, Bahía Afuera, Bahía de Cartagena, Barbacoas y Rosario se clasificaron como agua marina, el 6% como agua estuarina y el 12% como agua dulce (Figura 62).

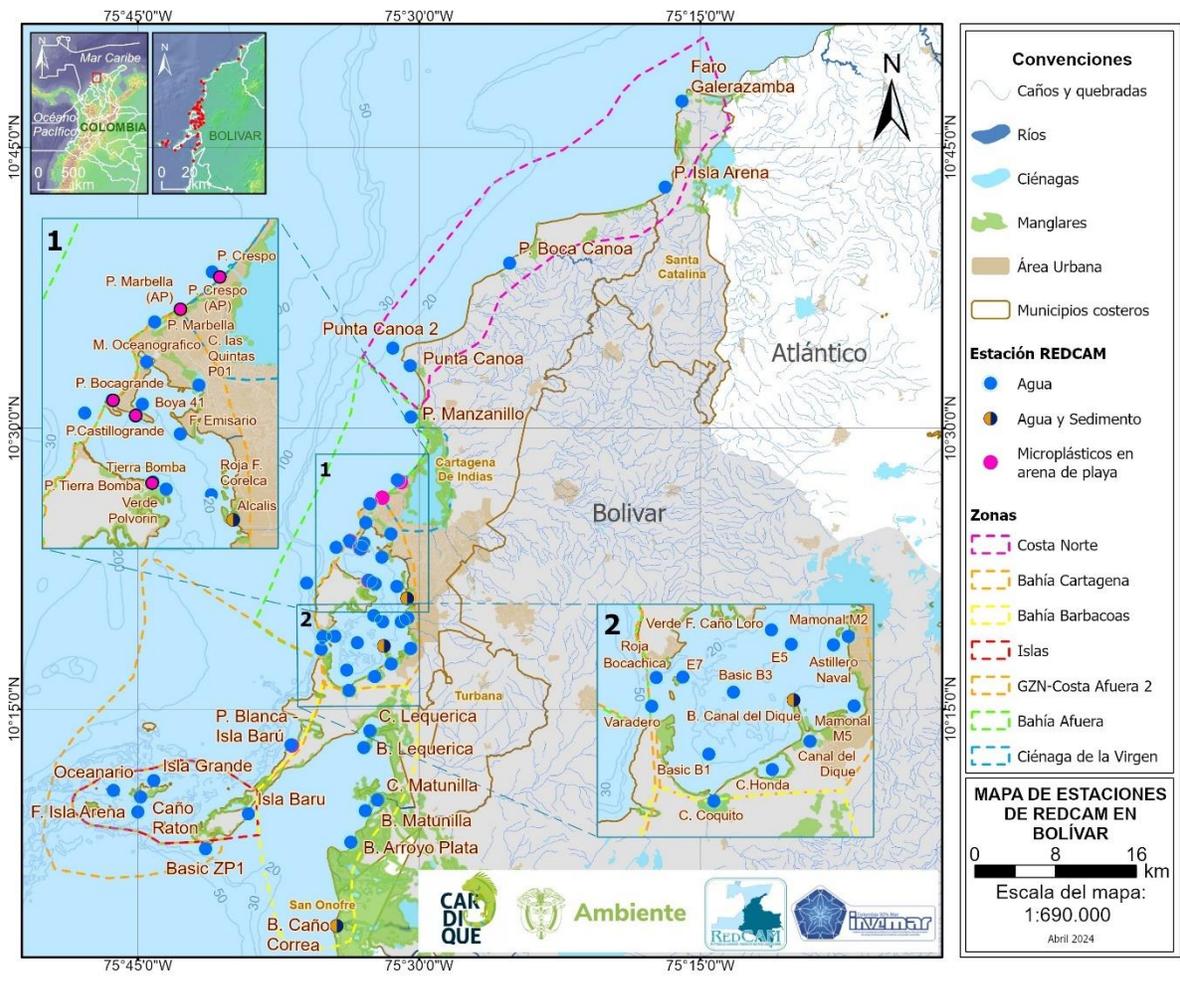


Figura 61. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento de Bolívar. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

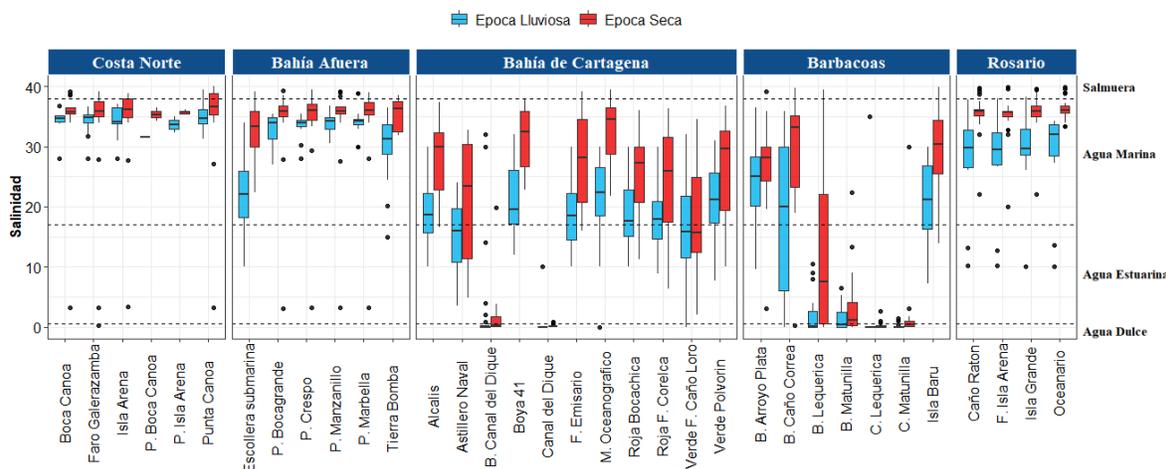


Figura 62. Representación histórica (2001-2023) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar, diferenciado por zona de muestreo; y entre época climática: lluviosa (color azul) y seca (color rojo). Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0,25 y 0,75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).

En cumplimiento del plan de muestreo establecido para el cálculo del ICAM, se recolectaron muestras de agua en todas las estaciones planificadas en el área marina del departamento de Bolívar; no obstante, en las estaciones P. Marbella, P. Blanca - Isla Barú, F. Isla Arena, P. Castillo grande, P. Crespo, Caño Ratón, Isla Grande, P. Manzanillo y Punta Canoa 2, los valores de las variables $P-PO_4^{3-}$, $N-NO_3^-$ y HPDD, estuvieron por debajo del Límite de cuantificación (LCM) del método usado por el LABCAM de INVEMAR, por tanto, de acuerdo a las limitaciones del ICAM, no fue posible estimar los subíndices que conforman su ecuación integradora.

En las estaciones donde fue posible estimar el ICAM, P. Tierra Bomba, C. las Quintas P01, Isla Barú, P. Bocagrande y Oceanario, se pudo establecer que, las condiciones del agua superficial eran adecuadas (Figura 63), indicando buenas condiciones para la preservación de la flora y fauna marina. Por el contrario, en la estación F. Emisario la calidad del agua superficial fue inadecuada, debido a las altas concentraciones de fosfato ($P-PO_4^{3-}$) y clorofila a que evidencian la presencia de fuentes de contaminación directas y difusas, las cuales contribuyen al aumento de nutrientes que afectan negativamente la calidad del agua en esta ubicación específica.

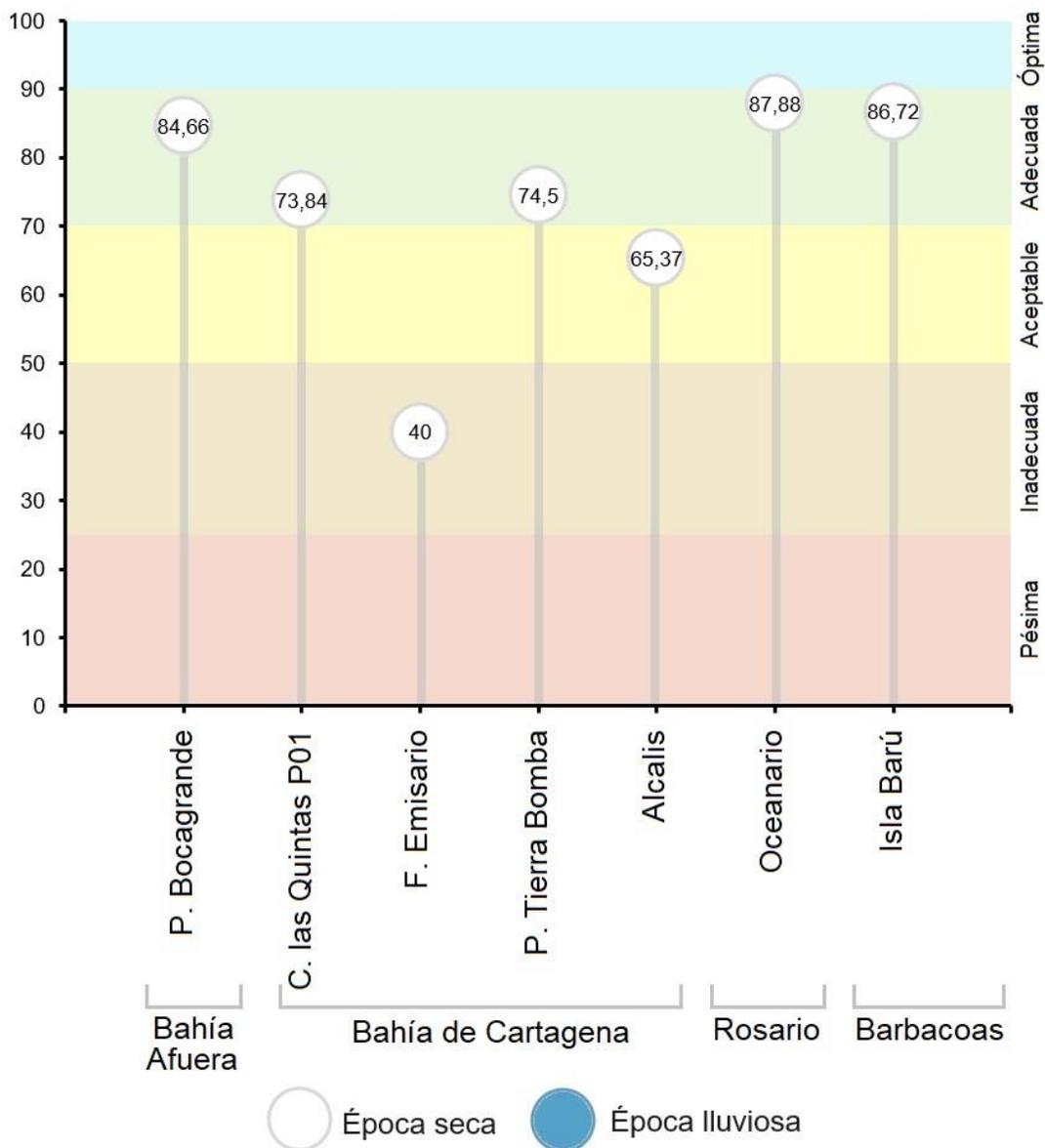


Figura 63. Calidad de agua superficial ICAM para época seca (muestreo en abril) del 2023, en las estaciones marinas y costeras del departamento de Bolívar.

En las estaciones ubicadas en la zona Costa Norte, Bahía Afuera, Bahía de Cartagena, Rosario y Barbacoas, se analizó el carbono orgánico total (COT). En las estaciones Punta Canoa 2, P. Manzanillo, P. Crespo y P. Tierra Bomba, el COT estuvo por debajo del LCM del método usado en el LABCAM. En las demás estaciones, las concentraciones estuvieron entre 0,52 y 2,60 mg COT/L (Figura 64). La mayor concentración se registró en B. Canal del Dique (2,60 mg COT /L) y P. Bocagrande (2,40 mg COT/L). Estas concentraciones son similares a las reportadas en el año 2021 en la época seca (INVEMAR, 2023a).

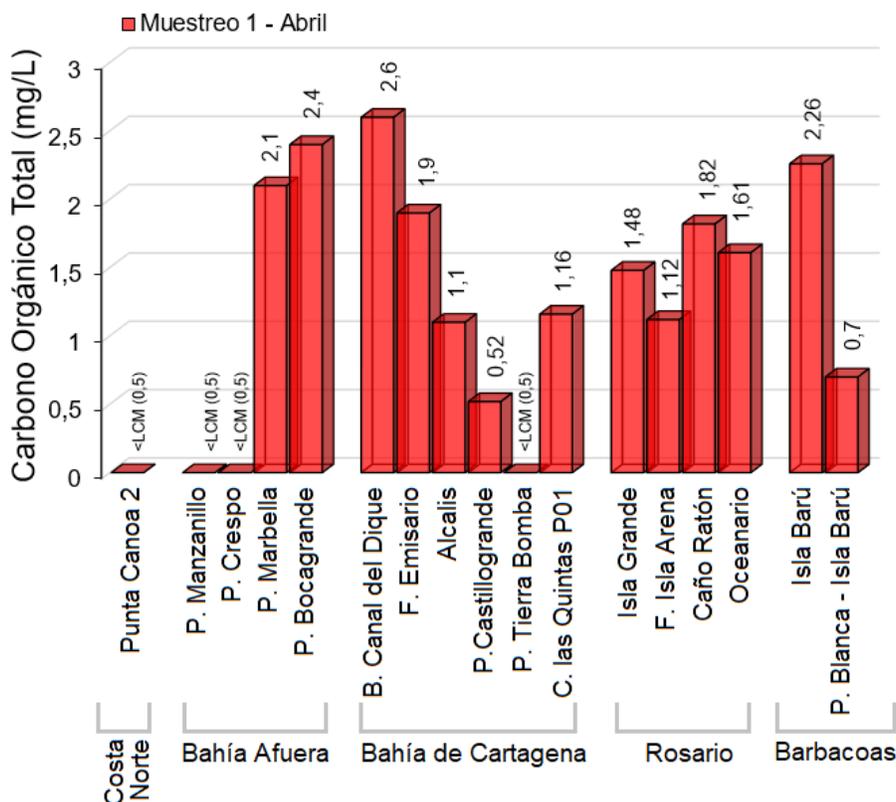


Figura 64. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en 2023 en el departamento de Bolívar. Barras rojas representan la época seca.

La calidad del agua para uso recreativo se determinó a partir de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT), contrastados con los límites permisibles para uso recreativo de contacto primario establecidas en la legislación nacional (<200 NMP/100 mL de CTE, <1.000 NMP/100 mL de CTT; [MinAmbiente, 2015](#)); y las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE), contrastados con los valores de referencia establecidos por la [Unión-Europea \(2006\)](#) (<100 UFC/100 mL de EFE).

En el muestreo 1 del año 2023, las concentraciones de CTE y CTT en las estaciones Boya roja No.1, Mamonal M2, E5, Mamonal M5 – Caño Casimiro, Caño Lequerica, 10 Matunilla, Desembocadura Caño Lequerica y Desembocadura Caño Matunilla, (Figura 65); y las concentraciones de CTT en las estaciones Desembocadura del Canal del Dique y Canal del Dique estuvieron por encima del valor permisible. En el muestreo 3, las concentraciones de CTE y CTT estuvieron por encima del límite permisible en las estaciones Mamonal M2, E5, Caño Lequerica y Desembocadura Caño Lequerica; y las concentraciones de CTT estuvieron por encima del límite permisible en las estaciones Desembocadura del Canal del Dique, Isla Manzanillo, Alcalis, Boya roja No.6, Boya verde No.41, Boya roja No.1, Mamonal M2, Boya roja F. CORELCA, Ciénaga Coquito, Boya verde No.17, Boya verde No.29, E5, Mamonal M5, Basic ZP1, Isla Grande y Oceanario. En los demás muestreos y estaciones las concentraciones de CTT y CTE, estuvieron por debajo de los límites permisibles.

Estos resultados son similares a los reportados en el año 2022 ([INVEMAR, 2023a](#)), donde las concentraciones de CTE y CTT fueron más altas en los meses de época seca, fechas donde se presenta mayor actividad de visitantes a las playas ([Reyes & Fontalvo, 2020](#)).

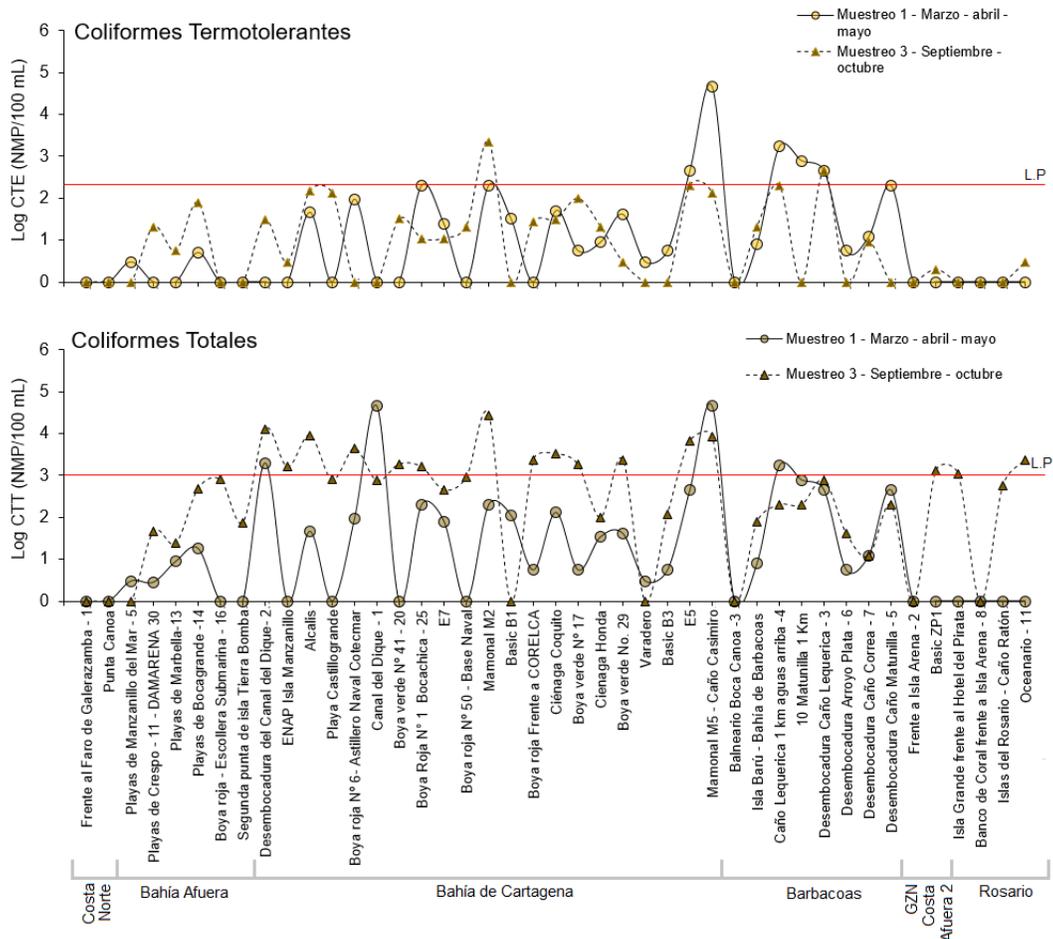


Figura 65. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Bolívar, muestreo del 2023. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permissible.

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](#)) y el valor de referencia propuesto por la [OMS \(2003\)](#) (Figura 66). Probablemente este resultado esté asociado a que el muestreo fue realizado en la época seca y el caudal de los ríos tiende a reducirse, por lo tanto, disminuyen los aportes continentales y consigo las concentraciones de EFE ([Quintana-Saavedra & Santa-Ríos, 2013](#)).

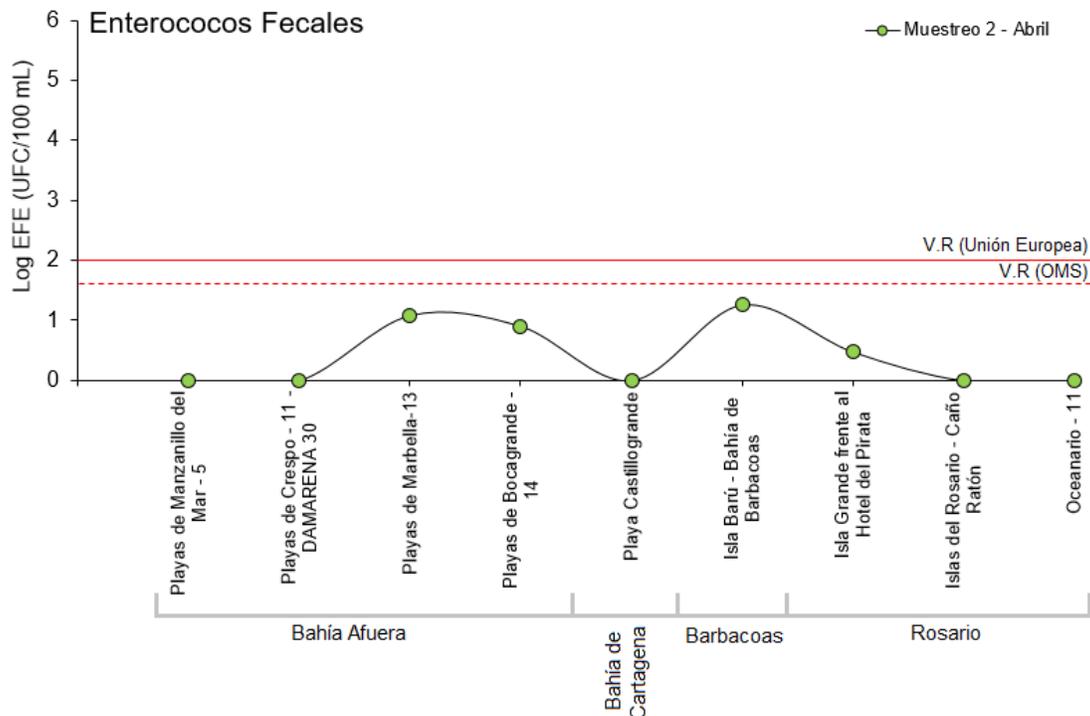


Figura 66. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Bolívar 2023. Línea roja: valor de referencia del límite permisible 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL; Unión-Europea_2006) y la línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL; OMS, 2003). V.R: Valor de referencia.

El análisis histórico (2001-2023) mostró que las estaciones han presentado niveles altos de cumplimiento, indicando que la calidad del agua es apta para uso recreativo de los bañistas (Figura 67). No obstante, la estación Isla Grande reportó un nivel de cumplimiento medio para CTT, situación que similar al año 2022 ([INVEMAR, 2023a](#)) relacionado con factores antrópicos persistentes que no tienen acciones de control eficientes, particularmente cuando se presentan altas afluencias turísticas que contribuyen con el aumento de las concentraciones de microorganismos ([Sunderland et al., 2007](#)). Cabe resaltar que, en el mes de octubre del 2023, se presentaron lluvias por encima de lo normal (120 – 160%), lo cual contribuyó con el arrastre de contaminantes hacia los cuerpos de agua, facilitando el ingreso de microorganismos que provienen de aguas residuales sin tratamiento ([INVEMAR, 2023a](#)).

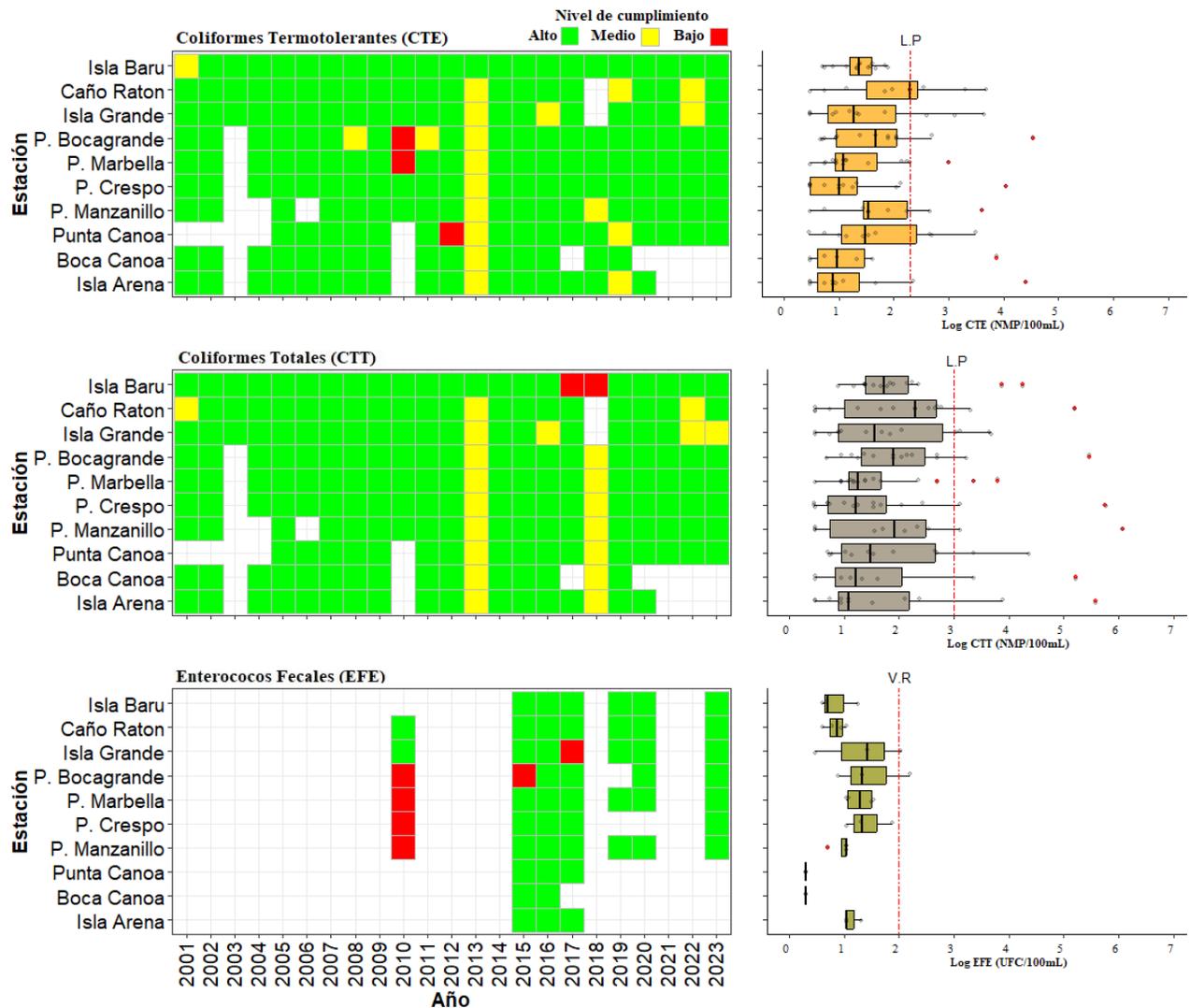


Figura 67. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Bolívar. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 50 y $< 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Bajo, cuando menos del 50% ($< 50\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. L.P: Límite permisible. V.R: Valor de referencia.

MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS TURÍSTICAS

La concentración de microplásticos en la arena de seis playas turísticas del departamento de Bolívar (Playa Blanca, P. Punta Arena, P. Castillo Grande, P. Bocagrande, P. Marbella y P. Crespo), osciló entre 14,4 a 354,4 ítems/m² (Figura 68). Se observó una mayor contaminación en P. Marbella con 354,4 ítems/m² y P. Punta arena con 128,8 ítems/m², playas donde se presentan actividades turísticas y comerciales. Estos valores son consistentes con los reportados por [Garcés-Ordóñez et al. \(2020b\)](#) e [INVEMAR \(2023a\)](#). El crecimiento industrial y otras actividades como el turismo, navegación marítima y actividad portuaria en el departamento de Bolívar han contribuido a la contaminación observada en estas áreas. Además, la costa se ve afectada por el flujo de aguas continentales a través del Canal del Dique ([Lebreton et al., 2017](#); [Tosic & Restrepo, 2023](#)). Durante la época seca, cuando hay mayor afluencia turística, se registra una mayor actividad que ha sido identificada como fuente directa del deterioro de la calidad de las playas ([Acosta-Coley et al., 2019](#)).

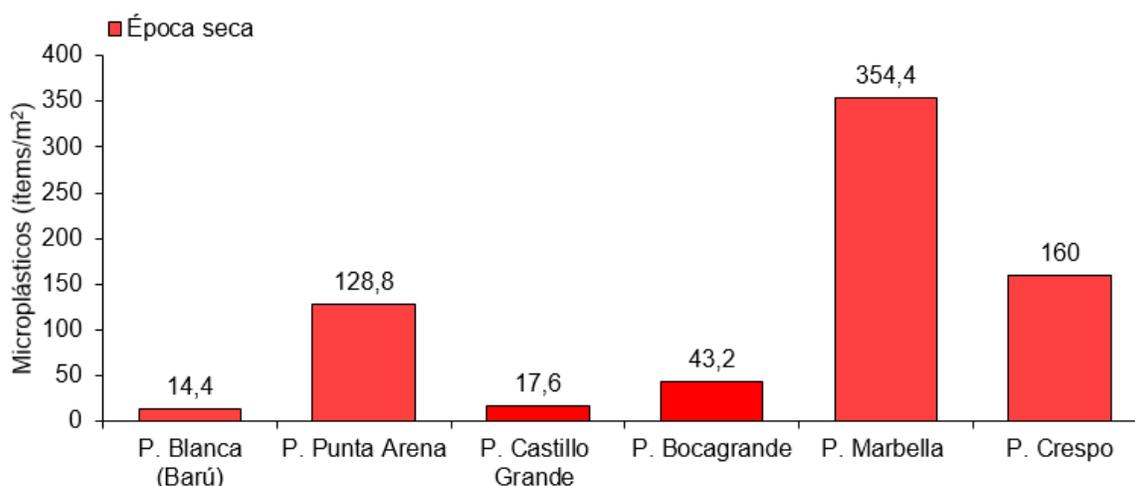


Figura 68. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playa de Bolívar, colectados en el muestreo realizado en abril (época seca) de 2023.

Los fragmentos fueron la forma más abundante de microplásticos encontrada, representando el 11,1% en P. Blanca, 48,4% en P. Punta Arena, 9,1% en P. Castillo Grande, 66,7% en P. Bocagrande, 78,8% y 80,5% P. Crespo. Además, se observaron espumas y filamentos, que son de origen secundario (Figura 69) derivados de la descomposición de desechos plásticos de mayor tamaño ([Yu et al., 2020](#)). Estos microplásticos están asociados con la gestión inadecuada de residuos sólidos, así como con actividades turísticas, industriales y pesqueras. Adicionalmente, se registraron microplásticos primarios en P. Blanca, P. Punta Arena y P. Marbella, comportamiento similar a lo reportado en el año 2022 ([INVEMAR, 2023a](#)), probablemente esto se debe a la industrialización predominante en este departamento ([Acosta-Coley et al., 2019](#)) que puede ser la fuente de pellets mal manipulados, los cuales se filtran en los cursos de agua y llegan a las zonas costeras.

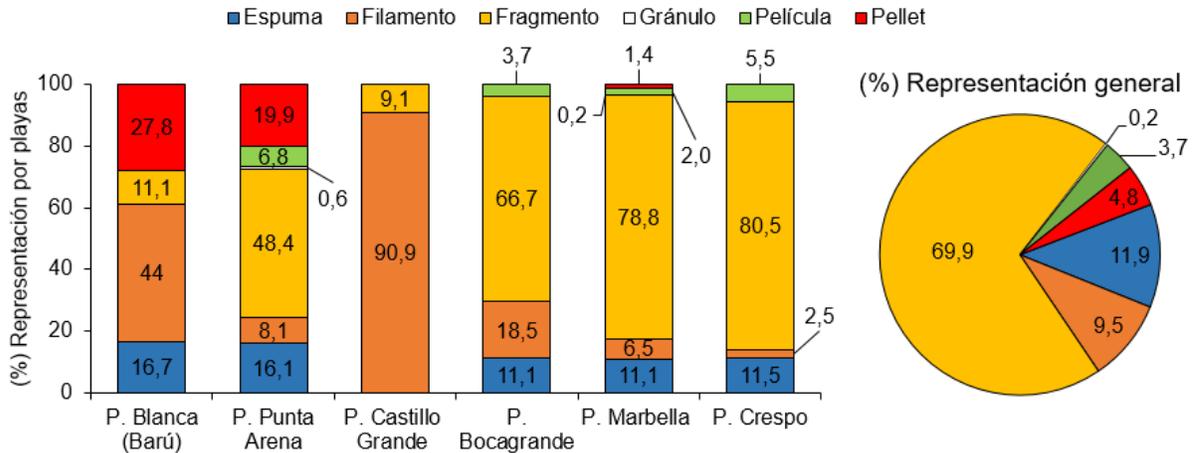


Figura 69. Porcentajes de representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas de Bolívar, colectadas en el muestreo realizado en abril (época lluviosa) de 2022.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La calidad del agua marina y costera del departamento de Bolívar durante la época seca del año 2023, determinada mediante el ICAM, reveló que las estaciones F. Emisario y Alcalis presentaron condiciones de calidad de agua marina inadecuada y aceptable, debido a las concentraciones de ortofosfatos y clorofila-a. Resultados que indican la necesidad de establecer controles sobre las fuentes contaminantes que provocan el deterioro de la calidad del agua.
- Las playas turísticas del departamento de Bolívar (Isla Barú, Caño Ratón, Isla Grande, P. Bocagrande, P. Marbella, P. Crespo, P. Manzanillo, Punta Canoa, Boca Canoa e Isla Arena) han mantenido consistentemente un comportamiento histórico favorable con concentraciones de CTE, CTT y EFE que cumplen con los criterios de calidad nacional y referentes internacionales. Estas condiciones se atribuyen en parte a la considerable distancia que separa estas playas de la zona urbana, además de las medidas higiénico sanitarias promovidas por las entidades gubernamentales.
- En las playas turísticas del departamento de Bolívar, Playa Blanca, Playa Bocagrande, Playa Castillo Grande, Playa Crespo, Playa Marbella y Playa Punta Arena, se ha registrado contaminación por microplásticos, siendo los fragmentos el tipo predominante, los cuales se originan a partir de la descomposición de desechos de mayor tamaño. Es necesario evaluar un periodo temporal más extenso para identificar las principales fuentes y la dinámica de los microplásticos en estas zonas, considerando factores como el viento, corrientes marinas, erosión costera y turismo.

The image features a coastal scene with a town on the shore and a large, abstract graphic of white wavy lines in the sky. The town is visible in the middle ground, with several buildings and a utility pole. The sky is dark blue with some clouds. The water in the foreground is dark blue with some ripples. The abstract graphic consists of many thin, white, wavy lines that create a sense of movement and depth, resembling a stylized wave or a series of overlapping planes.

DEPARTAMENTO DE SUCRE

Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR
José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

11. SUCRE

El departamento de Sucre, cuenta con una zona costera que abarca parte de los municipios de San Onofre, Santiago de Tolú y Coveñas, con una gran riqueza de sus ecosistemas marino-costeros, como lagunas costeras, manglares, playas, pastos marinos y arrecifes coralinos. El golfo de Morrosquillo se destaca por ser la apertura geográfica más relevante en la región, caracterizado por playas y costas lodosas. No obstante, el golfo enfrenta desafíos como la erosión, resultado de la construcción de espolones, deforestación y extracción de arenas ([Ricaurte-Villota et al., 2018](#)). Este territorio se ve influenciado por la desembocadura de pequeños caños y arroyos como Guacamaya, Alegría, El Francés, Guainí y Cascajo. Además, en esta zona se desarrollan actividades agropecuarias, industriales (como la pesca de camarón en aguas someras y el procesamiento de sus productos), cargue de petróleo a partir de monoboyas, marítimas y turísticas.

Las estaciones REDCAM se distribuyen en tres zonas, La zona de San Onofre, que va desde Matatigre hasta el islote Santa Cruz; la zona Golfo Afuera, con fuerte influencia de aguas marinas y actividades de cargade combustibles para exportación; y la zona de Tolú-Coveñas, que abarca desde frente a Berrugas hasta el arroyo Villeros donde hay aportes de aguadulce. Esta última zona se distingue por su actividad turística (Figura 70).

El comportamiento histórico de la salinidad en las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre (Figura 71), según la escala de salinidad del agua sugerida por [Knox \(2001\)](#), muestra que el 74% de las 31 estaciones de la zona de San Onofre, Golfo Afuera y las estaciones Coveñas Coquerita, Coveñas P. Viejo, Coveñas Puntepedras, F. Alegría, F. Coveñas, F. Francés, F. Tolú, Golfo F. Berrugas, Golfo F. Zaragocilla, Hotel Montecarlo, Hotel Playa Mar, P. Berrugas y P. Francés de la zona Tolú – Coveñas, tienen características marinas, lo que se atribuye a los pocos aportes continentales en esta zona costera ([INVEMAR, 2022](#)).

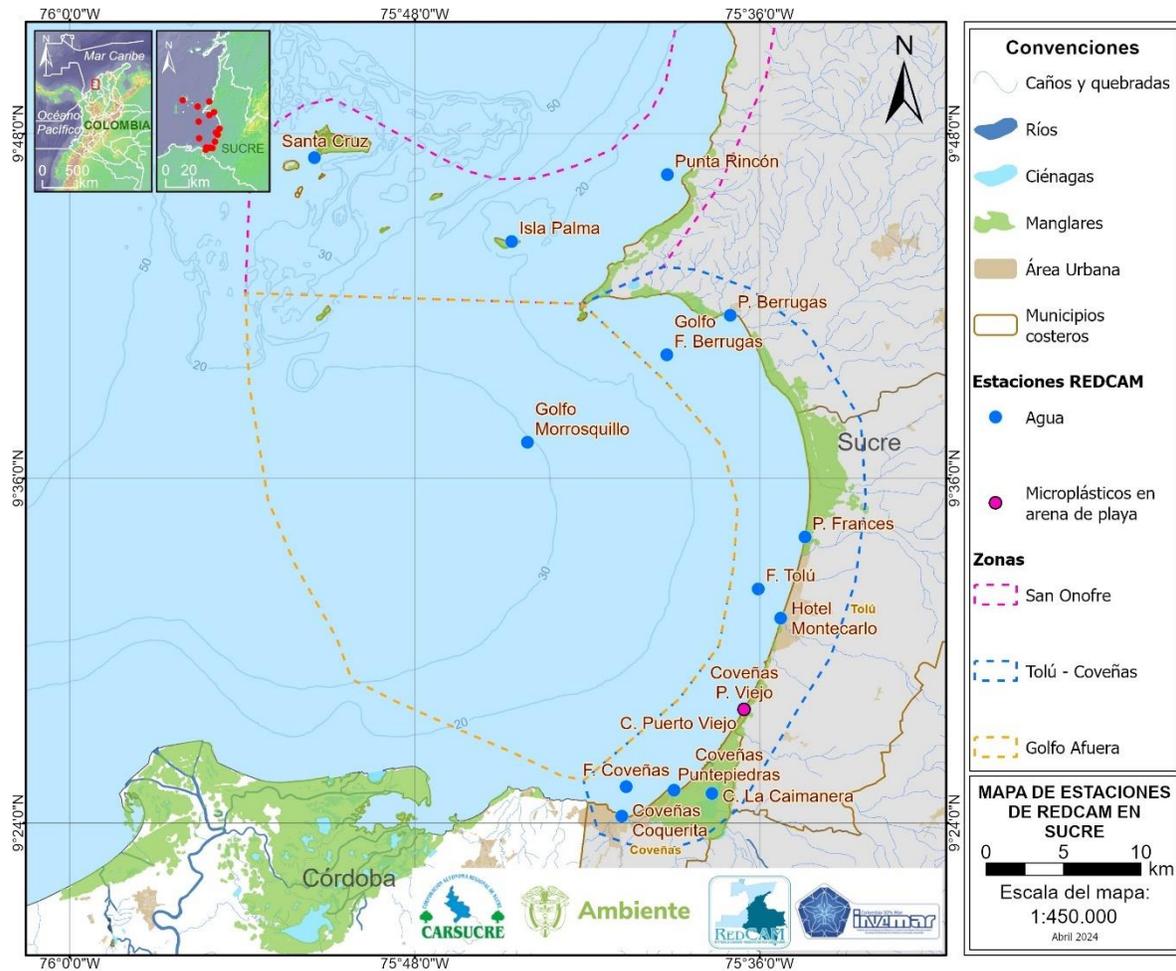


Figura 70. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento de Sucre. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

Durante la época lluviosa, las estaciones Arroyo Villeros, C. Alegría, C. Francés, C. Guacamayo, C. La Caimanera, C. Pechelín, y C. Zaragoza, presentaron una variación en los valores de salinidad se clasifican como aguas estuarinas, debido al incremento de los aportes de agua dulce por los arroyos y caños que provienen del ecosistema de manglar (INVEMAR, 2023a). En contraste, en la época seca, las estaciones Arroyo Villeros, C. Alegría, C. Francés, C. Guacamayo, C. La Caimanera, y C. Zaragoza presentaron características marinas debido a la disminución de los aportes continentales.

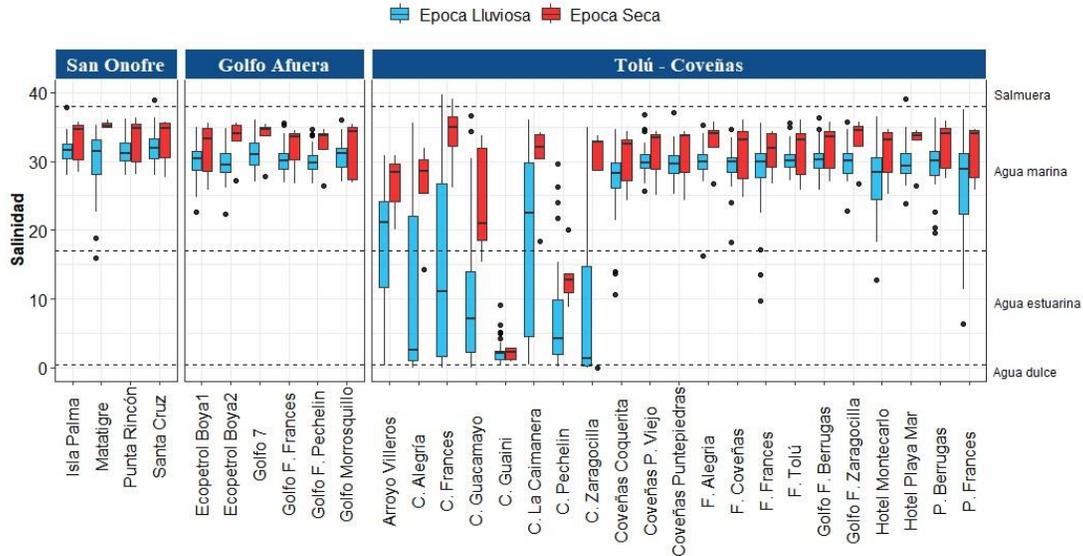


Figura 71. Representación histórica (2001-2023) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre, diferenciado por zona de muestreo (Costa Occidental y San Antero – Cispatá); y entre época climática: lluviosa (color azul) y seca (color rojo). Las líneas externas de las cajas 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. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).

En cumplimiento con el plan de muestreo establecido para el cálculo del ICAM se recolectaron muestras de agua en cada una de las estaciones planificadas en el área marina del departamento de Sucre; no obstante, en las estaciones Golfo F. Berrugas, Santa Cruz, F. Tolú, P. Berrugas, P. Frances, Isla Palma, F. Coveñas, Golfo Morrosquillo, Coveñas P. Viejo, Punta Rincón las concentraciones de las variables P-PO₄³⁻, N-NO₃⁻ y HPDD, estuvieron por debajo del Límite de cuantificación del método usado por LABCAM (LCM), por tanto, de acuerdo a las limitaciones del ICAM, no fue posible estimar los subíndices que conforman su ecuación integradora.

Con los datos del monitoreo del mes de julio, se calculó el ICAM, el cual mostró que la calidad del agua superficial de las estaciones Coveñas Puntepedras y Coveñas Coquerita fue óptima y adecuada respectivamente (Figura 72). En tanto que, en la estación Caimanera, la calidad fue inadecuada. Este resultado está relacionado principalmente a elevadas concentraciones de fosfato y bajas concentraciones de oxígeno disuelto. En la estación Hotel Montecarlo, el ICAM fue de 48,84, categorizado también como calidad inadecuada, debido a las concentraciones moderadas de sólidos suspendidos Totales y clorofila a. Cabe destacar que estos resultados son consistentes con los informes previos de 2021 y 2022 (INVEMAR, 2023a). Ambas estaciones están ubicadas en la zona Tolú-Coveñas, la cual se ve afectada por fuentes de contaminación antrópicas.

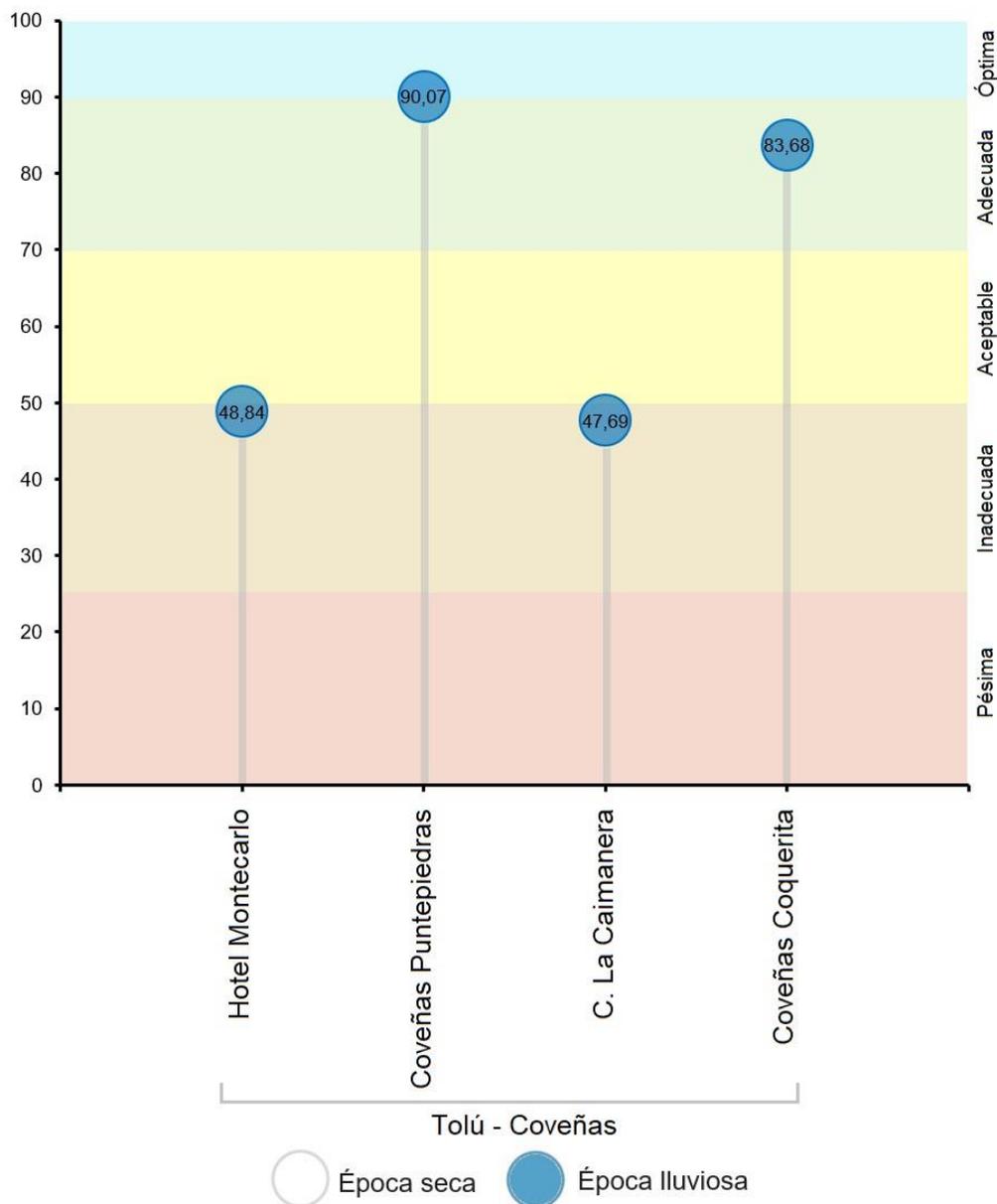


Figura 72. Calidad de agua superficial ICAM para época lluviosa (muestreo en julio) para el año 2023, en las estaciones marinas y costeras del departamento de Sucre.

En las estaciones ubicadas en la zona San Onofre, Golfo Afuera y Tolú – Coveñas, se analizó el carbono orgánico total (COT). Las concentraciones estuvieron entre 2,76 y 33,4 mg COT/L (Figura 73). La mayor concentración se registró en C. La Caimanera (33,4 mg COT/L) que esta bordeado por un ecosistema de manglar por lo cual hay abundante materia orgánica en descomposición, proveniente de residuos vegetales tanto aledaños como sumergidos. Esta situación es similar a la registrada en Rincón Hondo en el departamento del Atlántico en el 2022 ([INVEMAR, 2023a](#)). Cabe resaltar que este es el registro más elevado, después de los años 2017 y 2022, cuando las

concentraciones más altas fueron 9,96 y 8,59 mg COT/L respectivamente ([INVEMAR, 2023a](#)).

En las demás estaciones, se observó que las concentraciones de COT durante la época lluviosa fueron mayores que las registradas en el año 2022. Esta situación se relaciona con el aumento de las descargas fluviales, así como con el aporte hídrico proveniente de arroyos y escorrentías asociados a vertimientos de aguas residuales que aportan materia orgánica al sistema.

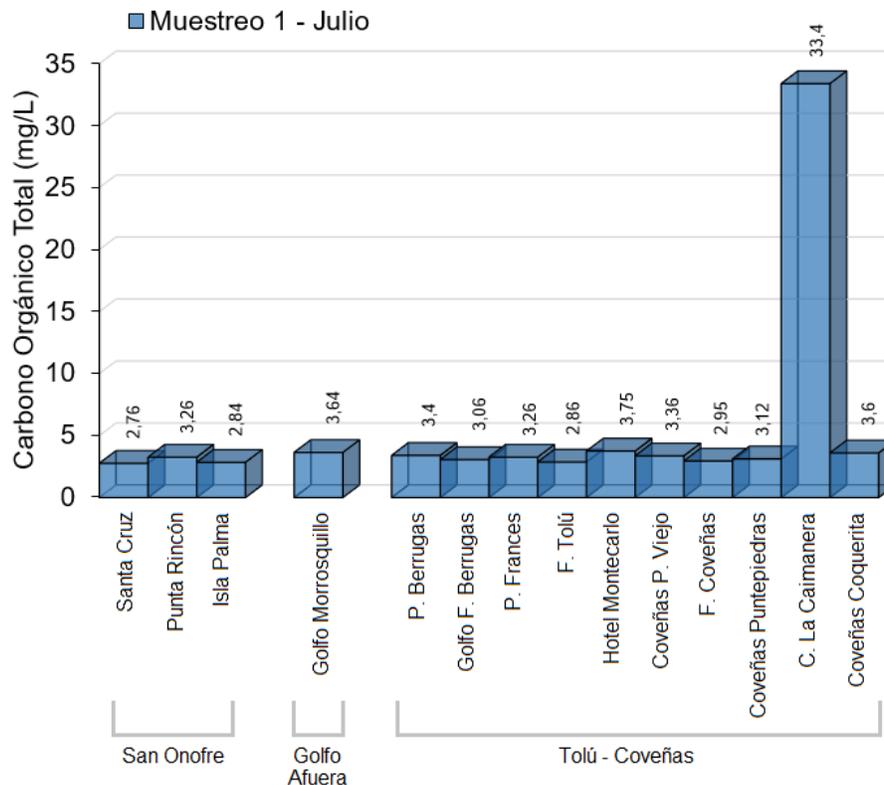


Figura 73. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en 2023 en el departamento de Sucre. Barras azules representan la época lluviosa.

La calidad del agua para uso recreativo se determinó a partir de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT), contrastados con los límites permisibles para uso recreativo de contacto primario establecidas en la legislación nacional (<200 NMP/100 mL de CTE, <1.000 NMP/100 mL de CTT; [MinAmbiente, 2015](#)); y las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE), contrastados con los valores de referencia establecidos por la [Unión-Europea \(2006\)](#) (<100 UFC/100 mL de EFE).

En el muestreo del año 2023, las concentraciones de CTE en las estaciones Isla Palma, Golfo Morrosquillo, P. Berrugas, Golfo F. Berrugas, F. Tolú y C. La Caimanera; y las concentraciones de CTT en el Golfo de Morrosquillo, estuvieron por debajo del límite de

cuantificación del método analítico (LCM) implementado por el LABCAM de INVEMAR. En las estaciones de la zona San Onofre, Golfo Afuera y Tolú – Coveñas las concentraciones de CTE y CTT estuvieron por debajo del límite permisible para contacto primario (CTE= 200 NMP/100 mL o 2,3 log NMP/100 mL, y CTT= 1.000 NMP/100 mL o 3 log NMP/100 mL) (Figura 74), con excepción de C. La Caimanera para CTT.

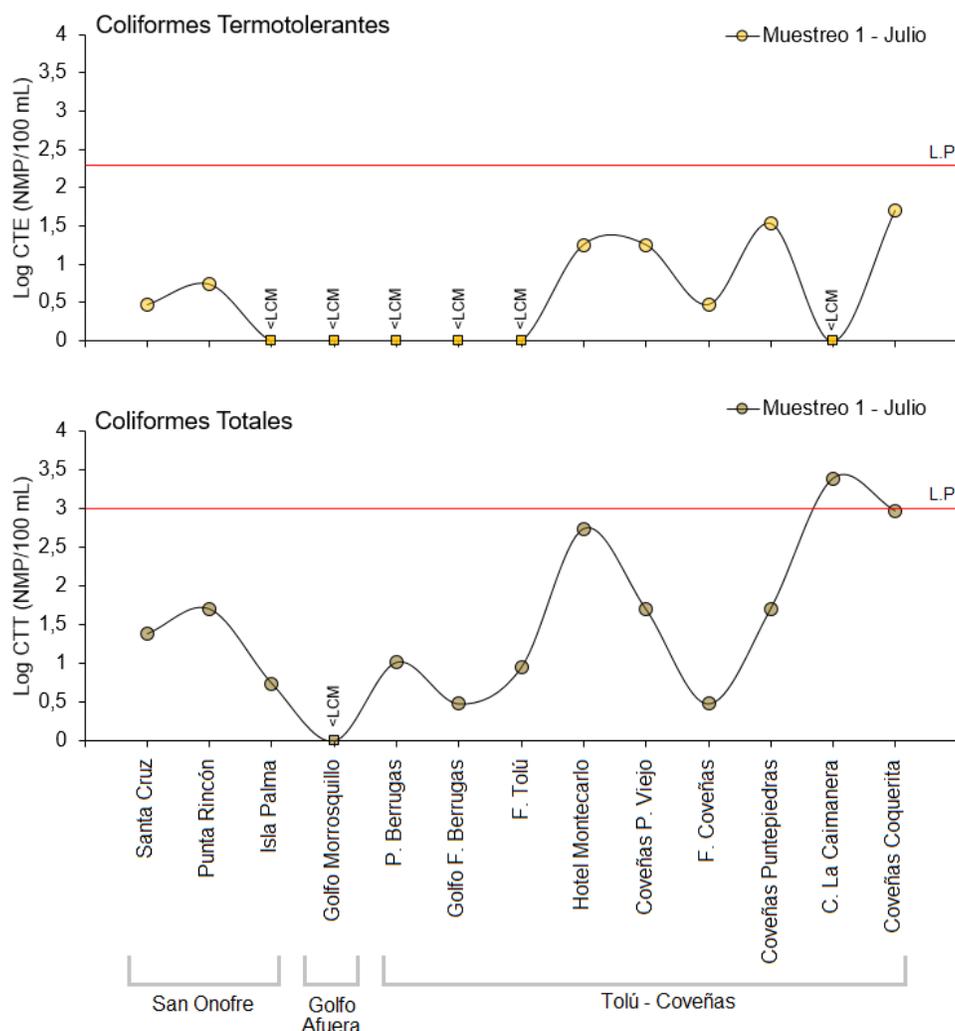


Figura 74. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Sucre, muestreo del 2023. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permisible.

En todas las estaciones de la zona San Onofre, Golfo Afuera y Tolú – Coveñas se presentaron concentraciones de EFE por debajo del valor de referencia propuesto por la Unión Europea (100 UFC/100 mL o 2 log UFC/100 mL; [Unión-Europea, 2006](#)) y el valor de referencia propuesto por la [OMS \(2003\)](#) de >40 UFC/100 mL que representa un riesgo >1% y de 0,3% de contraer enfermedades Gastrointestinales y respiratoria febril aguda

respectivamente (Figura 75), con excepción de la estación Coveñas P. Viejo, donde se presentó una concentración por encima del valor de referencia propuesto por la [OMS \(2003\)](#).

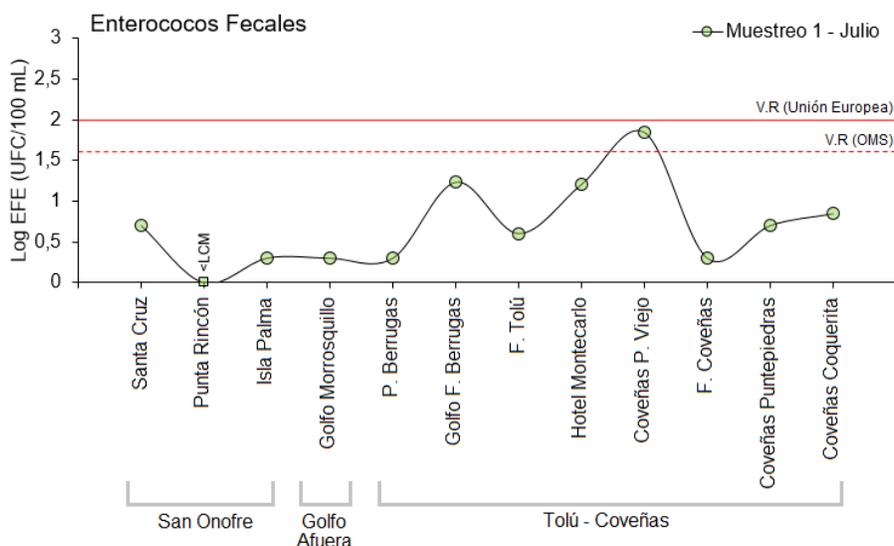


Figura 75. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Sucre 2023. Línea roja: valor de referencia del límite permisible 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL; Unión Europea, 2006) y la línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL; OMS, 2003). V.R: Valor de referencia.

El análisis histórico (2002-2023) mostró que las estaciones REDCAM del departamento de Sucre han presentado fluctuaciones con niveles alto, medio y bajo, con excepción de la estación Isla Palma, que ha mantenido consistentemente niveles de cumplimiento altos y medio (Figura 76). En términos históricos, en las estaciones Coveñas Coquerita, Hotel Montecarlo, Punta Rincón y Hotel Playamar se han registrado concentraciones medias de CTE que superan los límites establecidos para contacto primario y secundario establecidos por la legislación nacional ([MinAmbiente, 2015](#)). Específicamente, en la estación Coveñas Coquerita, las concentraciones medias históricas de CTT han superado los valores máximos permisibles para contacto primario y secundario; mientras que en las estaciones P. Francés, Hotel Montecarlo, Hotel Playa Mar y Punta Rincón se han registrado concentraciones de CTT superiores a los límites permisibles, lo que sugiere una posible asociación con vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento previo ([INVEMAR, 2023a](#)). Además, los servicios de alcantarillado en los municipios de Tolú y Coveñas son deficientes, los que resulta en la descarga directa de residuos domésticos en los cuerpos de agua costeros del departamento.

Entre los años 2016 y 2023, las concentraciones de EFE han mostrado consistentemente un comportamiento uniforme, destacando predominantemente niveles de cumplimiento alto. Para el año 2023, se observó una mejora en los niveles de cumplimiento en todas las estaciones muestreadas con respecto al año 2022.

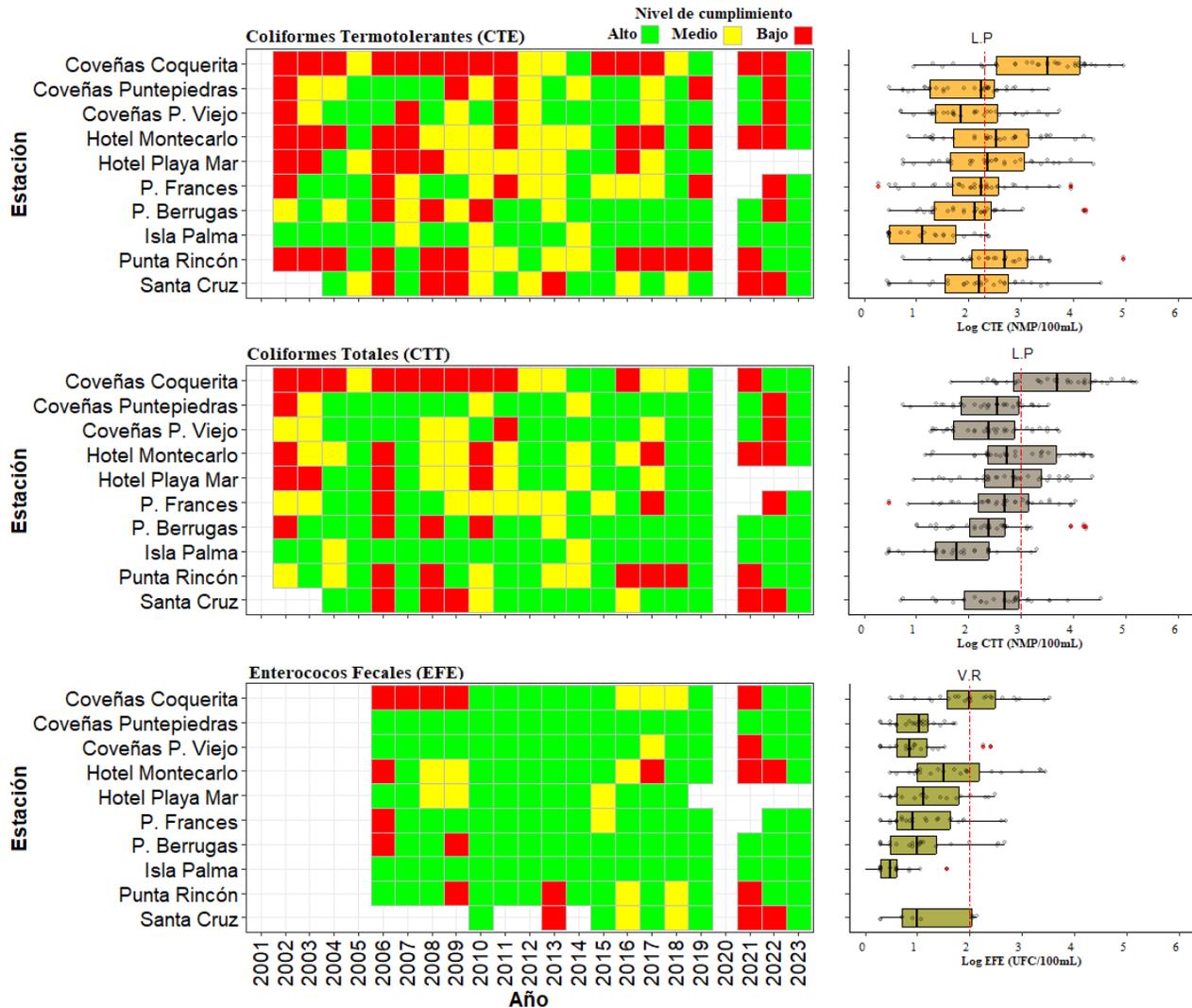


Figura 76. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Sucre. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 50 y $< 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Bajo, cuando menos del 50% ($< 50\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. L.P: Límite permisible. V.R: Valor de referencia.

BASURA MARINA Y MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS TURÍSTICAS

En julio del 2023, se realizó la cuantificación y el análisis de la contaminación por basura marina y microplásticos en la playa turística Coveñas Puerto Viejo del departamento de Sucre. La abundancia de basura marina fue de 2,11 ítems/m² (Figura 77), valor que se encuentra dentro del rango de lo reportado en otras playas turísticas del Caribe, como playa Mayapo en La Guajira, playa Municipal en Magdalena y playa Punta Astillero en el Atlántico ([INVEMAR, 2023a](#)). Los materiales de basura marina encontrado correspondieron el 100% a plásticos, representados en icopor, cubiertos desechables, botellas y tapas de bebidas, envoltorios y empaques de alimentos (Figura 77).

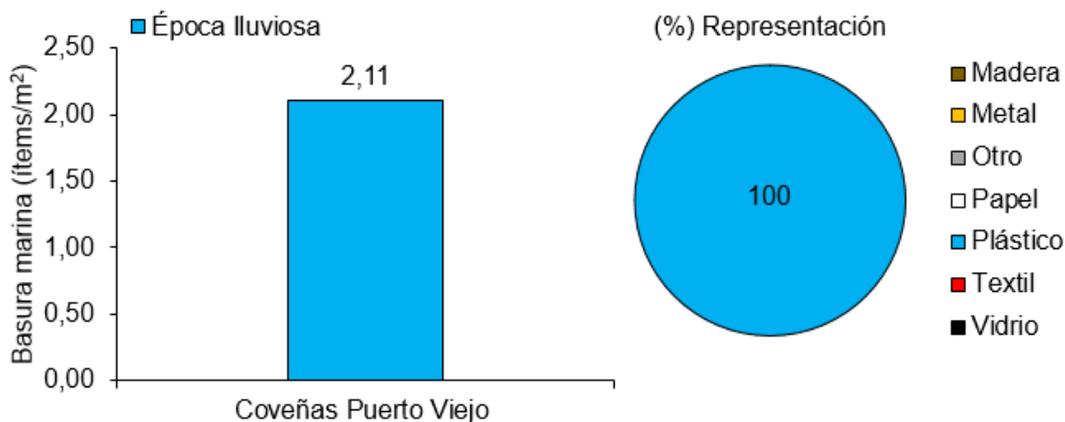


Figura 77. Abundancia y porcentaje de basura marina en la playa turística priorizada del departamento de Sucre, registrada en los muestreos llevados a cabo en julio de 2023.

La abundancia de microplásticos fue de 84 ítems/m² (Figura 78), la cual es similar a las reportadas en otras playas turísticas del Caribe como playa Mayapo en La Guajira y playa Cristal en Magdalena. Cabe resaltar que, estas playas son de tipo rural, por lo que el número de visitantes tiende a ser menor que en otras playas que presentan mayor accesibilidad como las playas Grande Taganga, Municipal y Rodadero en Magdalena, playa Santa Verónica, Puerto Colombia y Salgar en el Atlántico y playa Crespo, Marbella, Castillo Grande y Bocagrande en Bolívar, las cuales han presentado mayores abundancias de microplásticos ([Garcés-Ordóñez et al., 2020b](#)). Actividades como el turismo, navegación marítima y pesquería han contribuido a la contaminación en esta zona costera.

Los fragmentos fueron la forma más abundante de microplásticos encontrada, representando el 56,2%, mientras que el 27,6% fue espuma y el 14,3% película (Figura 78), todas de origen secundario derivados de plásticos de mayor tamaño ([Yu et al., 2020](#)). Adicionalmente, se encontraron microplásticos primarios, los cuales representaron el 1% en la forma pellet que se usan en productos del hogar, estéticos e higiénicos ([Boucher & Friot, 2017](#)), los cuales puede transportarse a través de aguas residuales industriales y domésticas. Además, estos contaminantes son exportados por las corrientes marinas y la circulación costera que se mueven predominantemente de noreste a suroeste, lo que sugiere que estos microplásticos

pueden ser transportados desde las principales zonas industriales de Cartagena, hacia localidades del sur, como Coveñas en Sucre ([Acosta-Coley et al., 2019](#)).

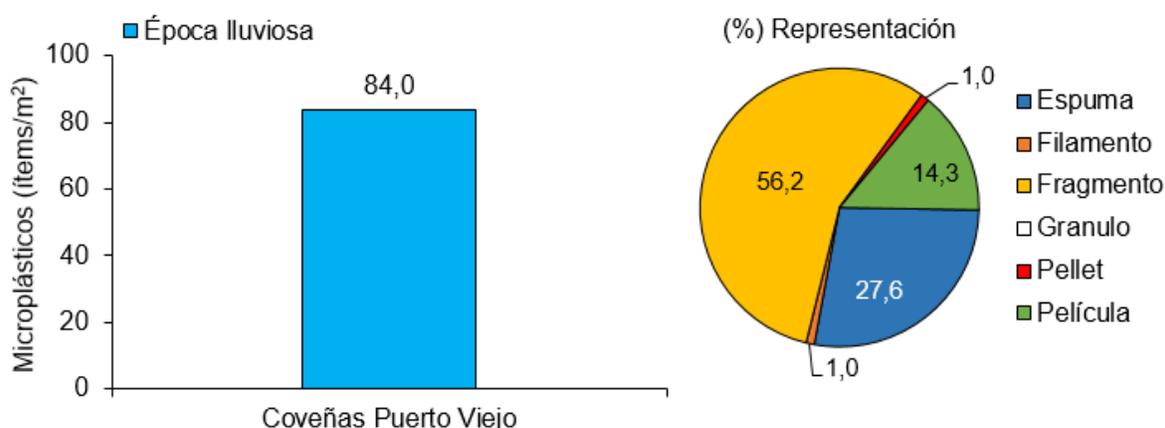


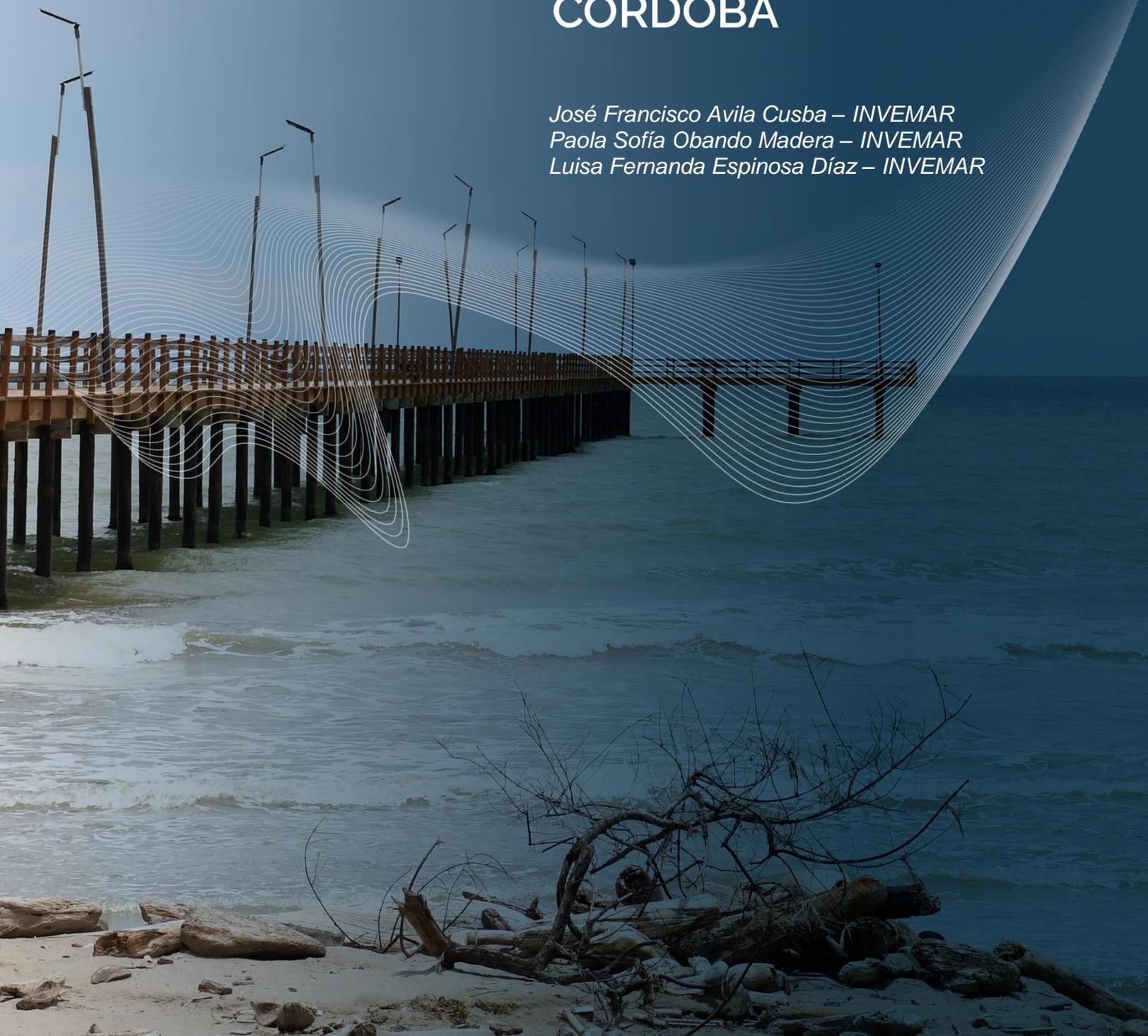
Figura 78. Abundancia y porcentaje de microplásticos en la playa turística priorizada del departamento de Sucre, registrada en los muestreos llevados a cabo en julio de 2023.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El análisis del ICAM estimado para las estaciones REDCAM del departamento de Sucre en el año 2023, reveló que las estaciones Hotel Montecarlo y C. La Caimanera presentaban condiciones de calidad de agua marina inadecuada, debido a las concentraciones de oxígeno disuelto, ortofosfatos y clorofila-a. Estos resultados subrayan la necesidad de establecer mecanismos de control y vigilancia para identificar las fuentes de contaminación responsables de deteriorar la calidad del agua en estas áreas.
- Históricamente, las playas turísticas del departamento de Sucre (Coveñas Coquerita, Punta Rincón, Hotel Montecarlo y Hotel Playamar), han mostrado niveles predominantemente bajos de calidad para uso recreativo de contacto primario. Sin embargo, para el año 2023, se observaron niveles que cumplen con los criterios de calidad nacional y referentes internacionales. A pesar de esta mejora, se recomienda continuar con los muestreos de calidad microbiológica del agua tanto antes como después de las altas temporadas de turismo. Esto permitirá establecer mecanismos de control y vigilancia que abarquen tanto las actividades turísticas como comerciales, garantizando así la sostenibilidad y seguridad de las playas para los visitantes.
- La playa turística Coveñas Puerto Viejo del departamento de Sucre, se ha identificado como un punto de contaminación por microplásticos, principalmente fragmentos que resultan de la descomposición de desechos de mayor tamaño. Se requiere de un estudio más amplio que abarque otras playas en la costa de Sucre y un periodo temporal más extenso para entender mejor las fuentes y el comportamiento de los microplásticos en estas áreas. Factores como el viento, corrientes marinas, erosión costera y actividad turística deben ser considerados en esta evaluación más amplia.

DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

*José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR*



12. CÓRDOBA

En la zona costera del departamento de Córdoba desemboca el Río Sinú, donde se firma el sistema lagunar delta estuarino (INVEMAR, 2014); la dinámica del Río es uno de los principales determinantes naturales en las variaciones de calidad de aguas y sedimentos. La zona costera del departamento comprende los municipios de San Antero, San Bernardo del Viento, Moñitos, Puerto Escondido y Los Córdoba (Figura 79). En esta zona se encuentran ecosistemas ambientalmente estratégicos para las comunidades locales, como los manglares más representativos del Caribe colombiano por su estado de conservación y cobertura, que proporcionan servicios ecosistémicos de provisión, regulación, culturales y de soporte; pastos marinos y corales que contribuyen a mantener y satisfacer las necesidades de las comunidades locales; y playas arenosas de gran importancia ecológica y turística (Fundación Natura e INVEMAR, 2019).

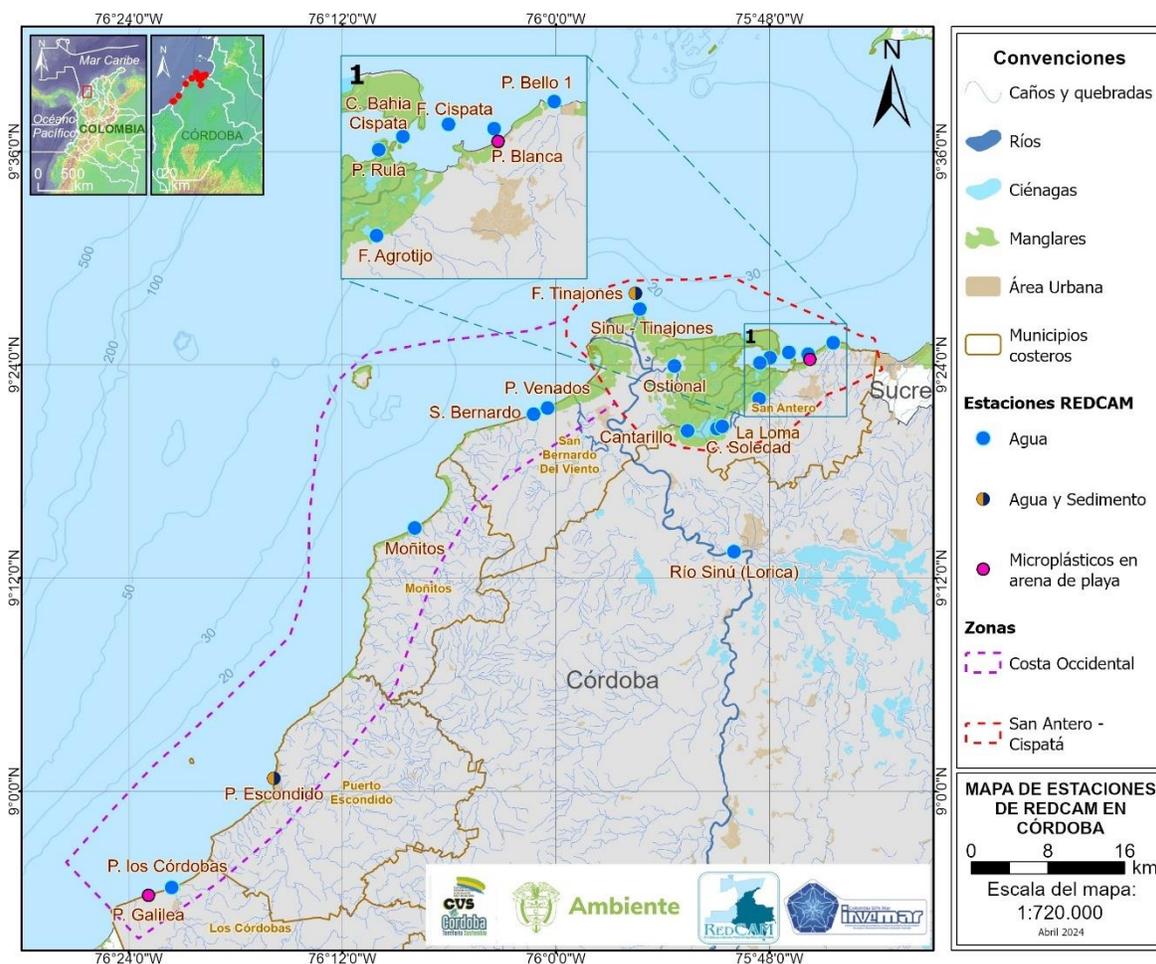


Figura 79. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento de Córdoba. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

El comportamiento histórico de la salinidad en las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba (Figura 80), muestra que el agua de las estaciones Moñitos, Puerto Escondido, Playa Venados, San Bernardo del Viento, Centro bahía Cispatá, Frente Cispatá, punta Bello 1, Playa Blanca y Punta Rula, se clasifica como agua marina, según la escala de salinidad sugerida por [Knox \(2001\)](#); debido a que estas estaciones se encuentran más alejadas de la incidencia del Río Sinú. Por otra parte, las estaciones C. Soledad, Cantarillo, Frente Agrotijo, Frente Tinajones, ciénaga La Loma y Sinú – Tinajones, se clasifican como agua estuarina; y las estaciones ciénaga Ostional y Río Sinú (Lorica), como agua dulce (Figura 80).

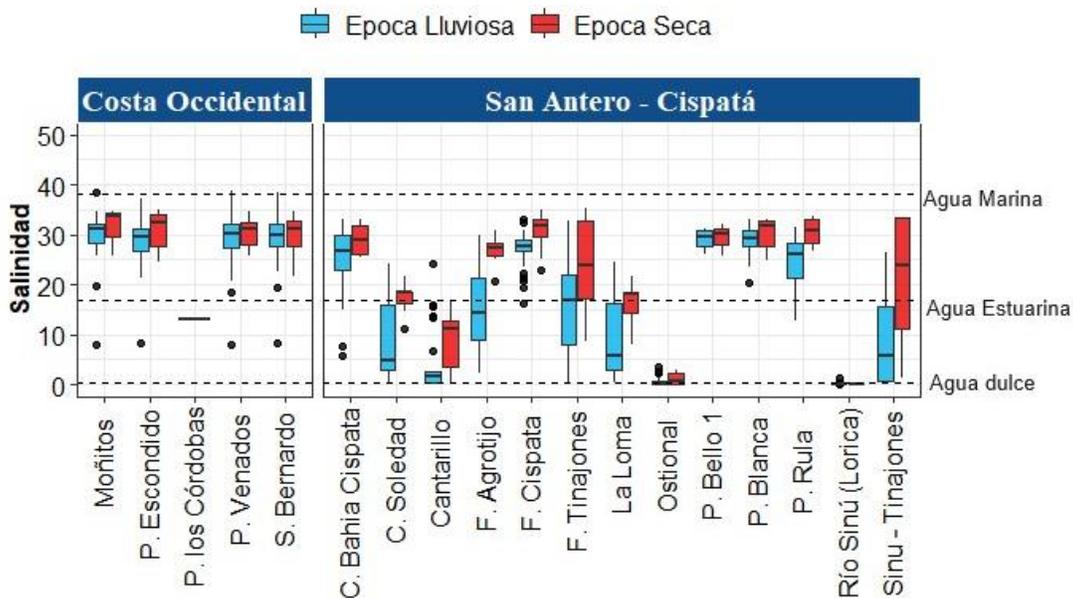


Figura 80. Representación histórica (2001-2023) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, diferenciado por zona de muestreo; y entre época climática: lluviosa (color azul) y seca (color rojo). Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0,25 y 0,75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).

En cumplimiento con el plan de muestreo establecido en el área marina del departamento de Córdoba para el cálculo del ICAM, se recolectaron muestras de agua superficial en cada una de las estaciones planificadas. No obstante, las variables P- PO_4^{3-} , N- NO_3^- y HPDD, estuvieron por debajo del Límite de cuantificación del método usado por LABCAM (LCM), por tanto, de acuerdo a las limitaciones del ICAM, no fue posible estimar los subíndices que conforman su ecuación integradora. Con la información recolectada en el muestreo del mes de julio del 2023 (época lluviosa), en las 12 estaciones ubicadas en Costa Occidental y Bahía de Cispatá que cumplían con el tipo de agua marina o estuarina, y el mínimo número de variables para su cálculo (6 de 8 variables), se calculó el índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM). El 58% de las estaciones evaluadas estuvieron en calidad adecuada (P. Bello 1, P. Blanca, C. Bahía Cispatá, F. Cispatá, P. Rula, C. soledad y S. Bernardo); el 33% en calidad aceptable

(Cantarillo, F. Tinajones, Moñitos y P. Los Córdoba) y el 8% en calidad inadecuada (Sinú - Tinajones). No se presentaron estaciones con calidad pésima (Figura 81).

La calidad inadecuada en la estación Sinú - Tinajones y la calidad aceptable en Cantarillo, F. Tinajones, Moñitos y P. Los Córdoba, se asocian a la influencia de escorrentías, y de las descargas de agua de los ríos Sinú y Córdoba que transportan materia orgánica y sustancias contaminantes desde sus recorridos fluviales. Particularmente en la estación Sinú - Tinajones y P. Los Córdoba, donde se presentó una alta concentración de nitrato (157 y 387 µg/L) y elevadas concentraciones de CTE (2.400 y 920 NMP/100mL) respectivamente. Estos resultados muestran la influencia de aguas residuales en ambas zonas, por tal razón, se requieren esfuerzos por parte de las instituciones para el desarrollo de acuerdos y estrategias que permitan el saneamiento y la gestión sostenible (Sobek et al., 2007).

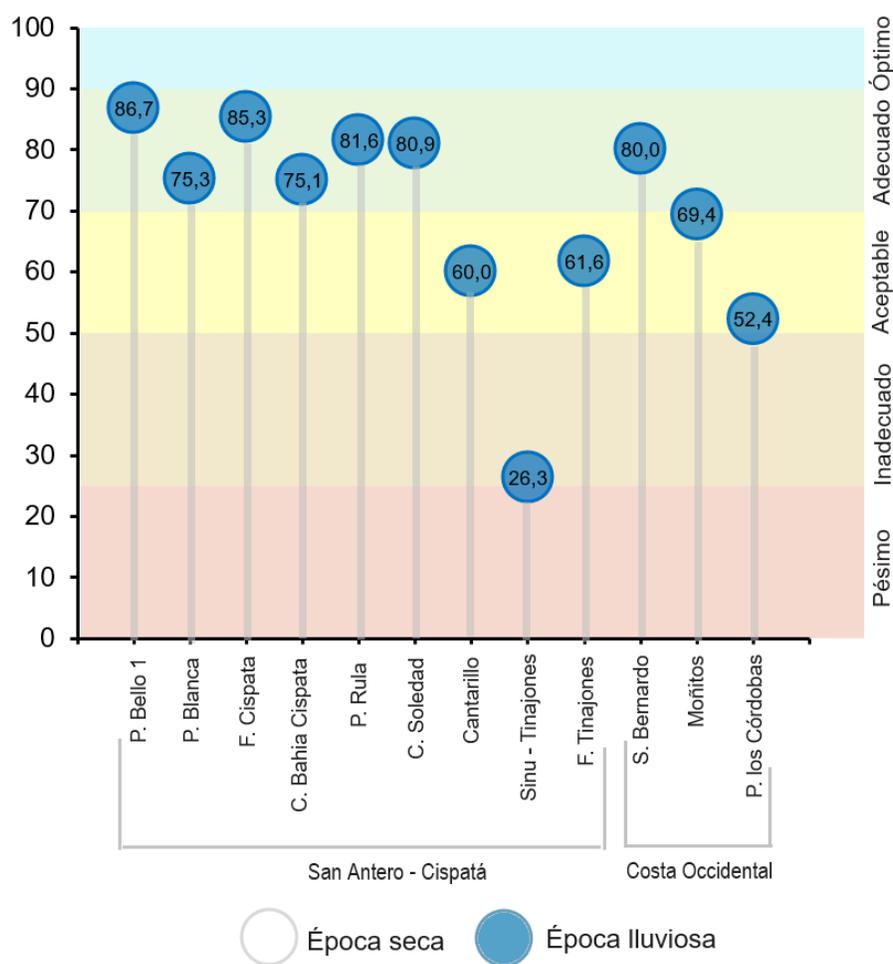


Figura 81. Calidad de agua superficial ICAM para época seca (muestreo en julio) para el año 2023, en las estaciones marinas y costeras del departamento de Córdoba.

Las estaciones C. Soledad, Río Sinú y Moñitos registraron concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) por encima del límite permisible para contacto primario (CTE = 200 NMP/100 mL o 2,3 log NMP/100 mL y CTT = 1.000 NMP/100 mL o 3 log NMP/100 mL; [MinAmbiente, 2015](#)); en las estaciones F. Tinajones, P. Blanca, Moñitos, P. Escondido y P. Los Córdoba, las concentraciones de CTE, estuvieron por encima del límite permisible para contacto primario (Figura 82). Al comparar estos resultados con el año 2022, se destaca que es un comportamiento recurrente, ya que en estas estaciones se registraron concentraciones por encima del límite permisible ([INVEMAR, 2023a](#)).

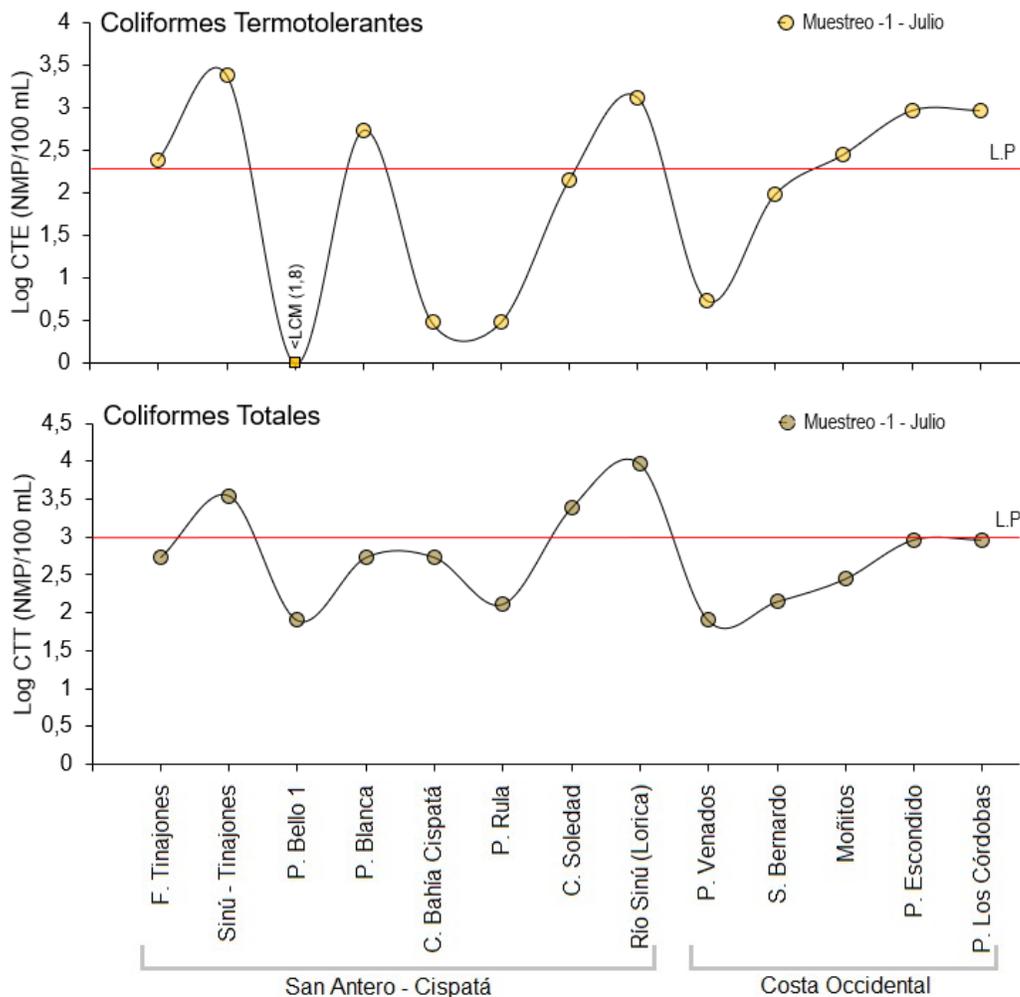


Figura 82. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Córdoba, muestreo del 2023. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 ml o 2,3 log (NMP/100 ml) para CTE, 1000 NMP/100 ml o 3 log (NMP/100 ml) para CTT y 100 UFC/100 ml o 2 log (UFC/100 ml). L.P: Limite Permisible.

Las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) estuvieron por debajo del límite permisible propuesto por la [Unión-Europea \(2006\)](#) (100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL), con excepción de las estaciones Moñitos y P. Escondido de la zona Costa Occidental. Este resultado evidencia un deterioro de la calidad microbiológica con respecto a lo observado en el año 2022 ([INVEMAR, 2023a](#)), asociado a las actividades antropogénicas como el turismo, el deficiente manejo de las aguas residuales y residuos sólidos de los municipios Moñitos y Puerto Escondido, debido a la carencia en la cobertura de saneamiento básico adecuado en las poblaciones de estas zonas costeras ([INVEMAR, 2020](#)) (Figura 83).

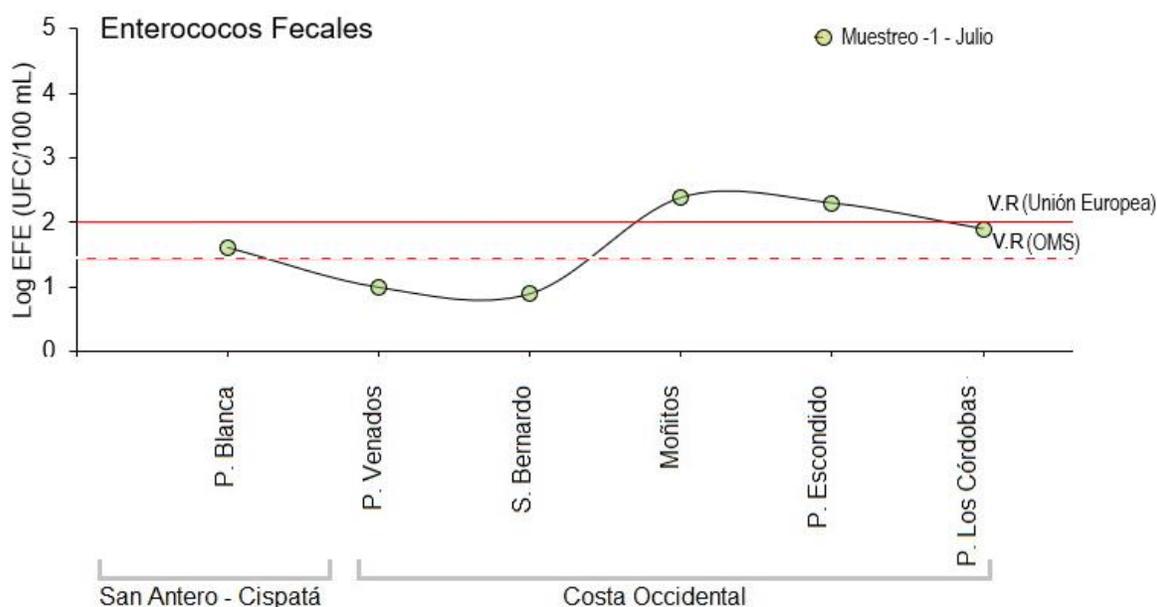


Figura 83. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Córdoba 2023. Línea roja: valor de referencia de 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL; Unión-Europea 2006) y la línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL; OMS, 2003). V.R: Valor de referencia.

El análisis histórico mostró que desde el año 2002 las concentraciones de CTE, CTT y EFE, han mantenido un comportamiento fluctuante, con niveles de cumplimiento e incumplimiento en diferentes momentos. En las estaciones Puerto Escondido y Moñitos las concentraciones de CTE, CTT y EFE han aumentado con el tiempo, sobrepasando los valores permisibles de CTE, CTT para contacto primario y secundario establecidas en la legislación nacional ([MinAmbiente, 2015](#)), y el valor de referencia del límite permisible de EFE ([Unión-Europea, 2006](#)) (Figura 84). La tendencia al aumento de las concentraciones de CTE, CTT y EFE en Puerto Escondido y Moñitos se relaciona con diversos factores, entre los que destacan la presencia de escorrentías durante períodos de lluvia que arrastran consigo aguas residuales, la carencia de infraestructura necesaria para evitar la descarga directa de aguas residuales en zonas adyacentes a las playas, así mismo como la falta de adecuados sistemas de tratamiento de aguas residuales en los municipios.

Esto desencadena un desequilibrio en la calidad del agua, superando los límites establecidos por la legislación nacional para contacto primario y secundario.

Durante el año 2023, se evidenció un nivel de cumplimiento alto para los CTT en las estaciones de playa turística monitoreadas. Sin embargo, se ha registrado un nivel de cumplimiento bajo en cuanto a los CTE en las estaciones P. Los Córdoba, P. Escondido, Moñitos y P. Blanca; así mismo en las estaciones P. Escondido y Moñitos en relación a las concentraciones de EFE (Figura 84).

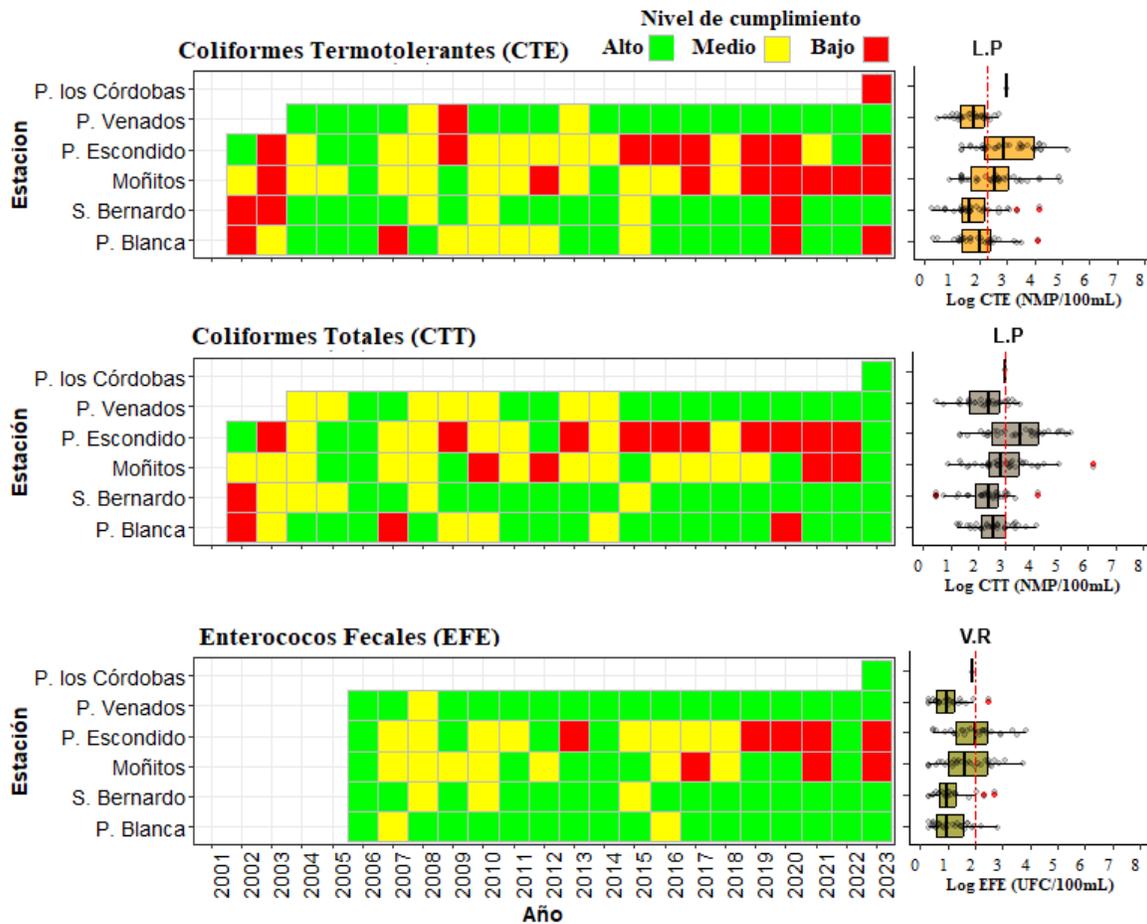


Figura 84. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Córdoba. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 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. V.R: Valor de referencia.

CALIDAD DE SEDIMENTOS MARINOS Y COSTEROS

La zona hidrográfica Sinú, cuenta con altas pendientes y escorrentías que junto con las áreas agrícolas dan lugar a procesos de erosión hídrica, lo cual permite que se den las condiciones para la producción de sedimentos por movimientos en masa, así como la presencia esporádica de explotación de oro de aluvión que son una fuente importante de sedimentos (IDEAM, 2019).

La caracterización granulométrica de los sedimentos recolectados en julio del 2023 (época lluviosa), mostró que la estación F. Tinajones contiene un 99,6% de Lodo y 0,3% de Arena, clasificando el sedimento como tipo Lodoso (limo+arcilla, $<63 \mu\text{m}$), con diametro medio del grano de $15,7 \mu\text{m}$ (Figura 85). Estos resultados fueron similares a los reportados en 2022, lo cual se asocia a la geomorfología del sector determinada por la desembocadura deltaica del río Sinú (Castaño *et al.*, 2010; Ruíz Ochoa *et al.*, 2010) que mantiene depósitos de tipo fluvial y lacustre con poca influencia marina, compuestos principalmente por arcillas y limos (Lazala & Parra, 2010).

El sedimento de la estación P. Escondido, tuvo un mayor porcentaje de arena (97,28%) (Figura 85), clasificando el el sedimento como tipo arena fina, con un diametro de partícula de $167,2 \mu\text{m}$, a su cercanía a la línea costera que está influenciada por los vientos y corrientes marinas.

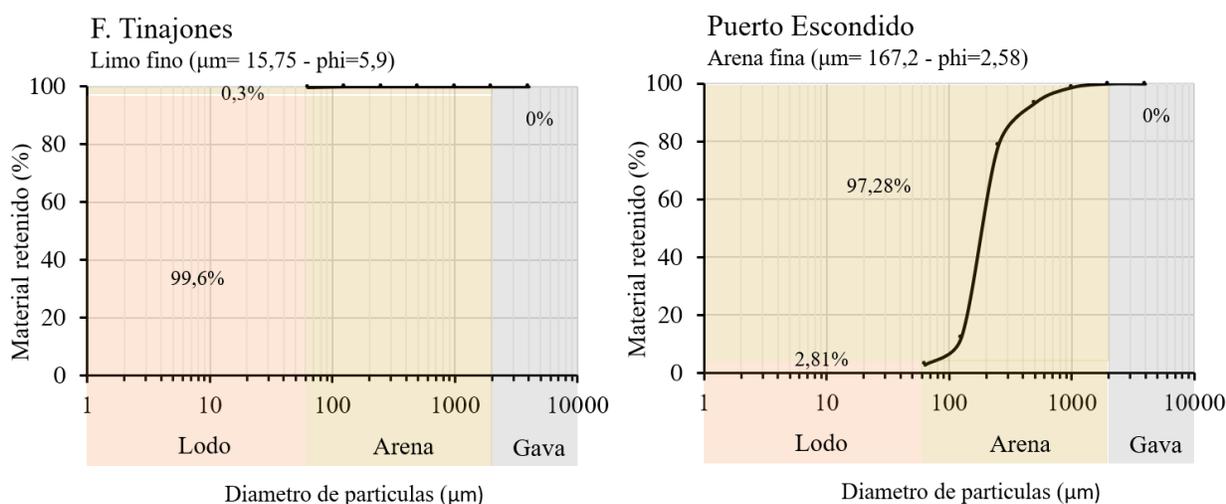


Figura 85. Curva granulométrica y clasificación del tipo de sedimento en las estaciones monitoreadas en el 2023 para el departamento de Córdoba.

La concentración de Carbono Organito Total (COT) en las muestras de sedimento de la estación F. Tinajones fue 0,84 %, mientras que la estación P. Escondido, con tipo de sedimentos arenosos, la concentración de COT estuvo por debajo del limite de cuantificación del metodo usado por el laboratorio ($< \text{LCM } 0,1$).

En cuanto a los metales totales en sedimentos marino/estuarinos, las mayores concentraciones se registraron en la estación Frente Tinajones (Figura 86), con registros

para zinc (Zn) 115 µg/g, cobre (Cu) 65,1 µg/g, cromo (Cr) 115 µg/g, hierro (Fe) 53,9 mg/g y mercurio (Hg) 167 ng/g. Las concentraciones de los metales cobre (Cu), cromo (Cr) y mercurio (Hg) superaron los valores de referencia para efectos umbral TEL (Cu = 18,7 µg/g, Cr= 52,3 µg/g, y Hg=130 ng/g; [Buchman, 2008](#)).

En la estación P. Escondido, las concentraciones de Zn (28 µg/g), Cu (9,69 µg/g), Fe (14,2 mg/g) y Hg (115 ng/g), estuvieron por debajo del valor de referencia para efectos umbral (TEL; [Buchman, 2008](#)) (Figura 86). Las concentraciones de Cr en P. Escondido y las de Cd, Ni y Pb en las dos estaciones monitoreadas estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM (LCM_{Cr}= 25 µg/g, LCM_{Cd}= 12,5 µg/g; LCM_{Ni}= 75 µg/g y LCM_{Pb}= 15 µg/g).

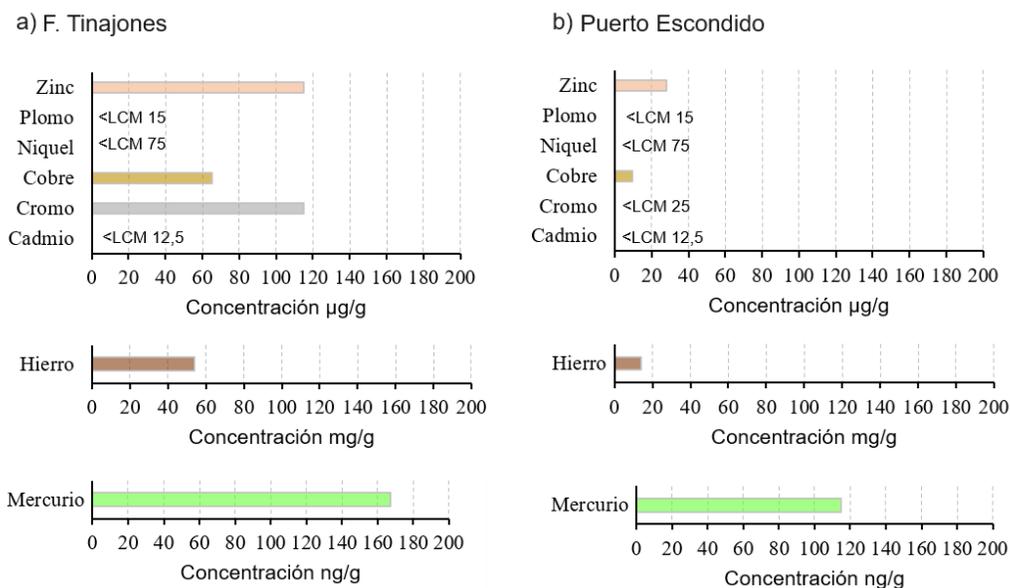


Figura 86. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos recopilados en 2023 en el departamento de Córdoba. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino. 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.

En estudios realizados en la bahía de Cispatá, se ha detectado la presencia de los metales Cu, Cr, Cd, Ni, Pb y Hg en el agua, sedimentos, aves y peces ([Burgos-Núñez et al., 2017](#)), lo cual está relacionado con las aguas freáticas del distrito de riego y del drenaje La Doctrina, y con la operación del puerto de embarque de petróleo, sin dejar a un lado las actividades ganaderas, residuos domésticos y la actividades agrícolas, ya que los metales llegan fácilmente por escorrentías al sistema estuarino ([Feria et al., 2010](#), [Marrugo et al., 2017](#)). Por otro lado, algunos fertilizantes empleados en suelos que presentan deficiencias nutricionales, contienen pequeñas cantidades de Cu y Zn; algunos plaguicidas contienen metales como el Cu; y algunos fungicidas contienen Cd y Hg ([Burgos-Núñez et al., 2017](#)). Es importante destacar que los metales pesados no son biodegradables, por lo tanto su concentración en el ambiente es de carácter acumulativo con el paso del tiempo ([Cadavid-Velásquez et al., 2019](#)).

BASURA MARINA Y MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS TURÍSTICAS

En el análisis de basura marina de las tres playas del departamento de Córdoba, playa Blanca en San Antero; Playa Los Córdoba y Galileas en el municipio de Los Córdoba, se evidenció que la concentración de basura fue mayor en Playa Los Córdoba (1,33 ítems/m²), seguido de Playa Blanca (1,24 ítems/m²) (Figura 87), mientras que, en Playa Galilea no se reportó basura marina, este resultado se asocia con la erosión observada sobre la playa, y que por el impacto de las olas, se haya imposibilitado la visualización y recolecta de residuos. (Figura 88).

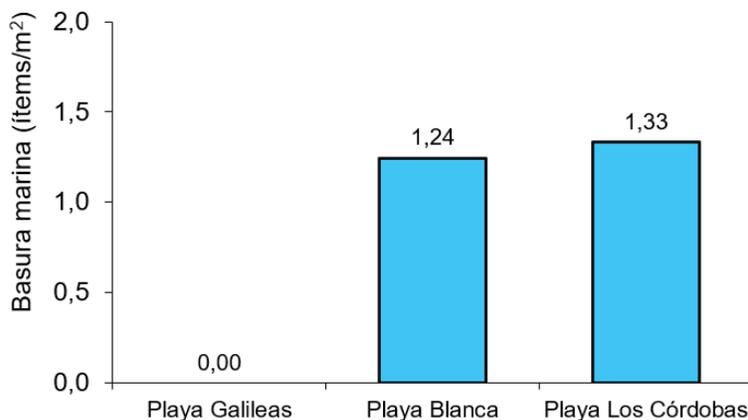


Figura 87. Abundancia de basura marina en las playas turísticas de Córdoba, registrada en los muestreos realizados en julio de 2023.



Figura 88. Erosión costera en Playa Galileas, Córdoba. Julio de 2023.

A través de la caracterización realizada de la basura marina, se observó la presencia de plásticos como bolsas de paquetes de comida y golosinas, envases y cubiertos desechables, polipropileno extendido “icopor”, pitillos y etiquetas de bebidas: asimismo, se evidenciaron materiales como el vidrio encontrado en fragmentos de envases, y

madera (Figura 89). Entre los diferentes materiales, el plástico correspondió al tipo de basura con mayor representación (92,2%), lo cual puede proceder por el aumento en la producción global y por sus características físicas; ligereza, resistencia y durabilidad (Eriksen *et al.*, 2014). La presencia de los plásticos en las playas se asocia con actividades antrópicas en inmediaciones de la zona, así como con la incidencia de la desembocadura de ríos, corrientes y vientos (Bhuyan *et al.*, 2020). Cabe destacar, que el transporte de los residuos a la zona marina costera, refleja la carencia de sistemas adecuados para el saneamiento básico desde la cuenca alta, media y baja.

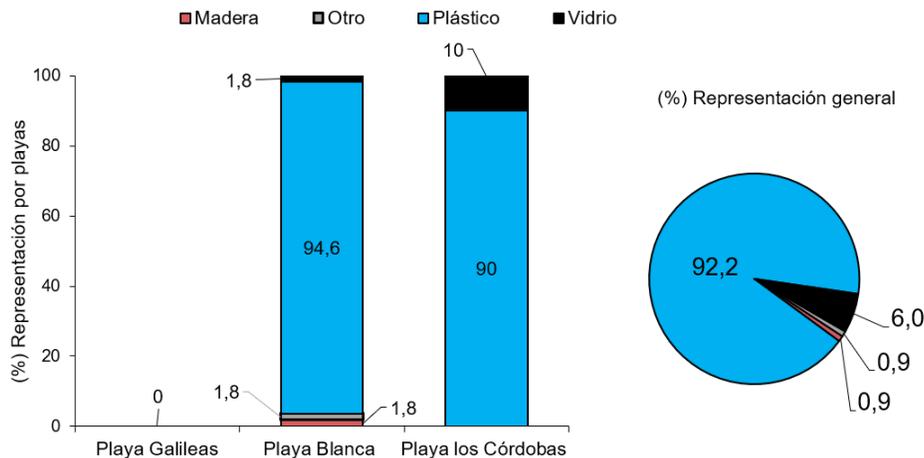


Figura 89. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de basura marina en las playas turísticas de Córdoba, evaluadas en los muestreos realizados en julio de 2023.

Con respecto a los microplásticos (MPs: partículas inferiores a los 5 mm), se evidenció que la Playa Los Córdoba fue la estación que obtuvo mayor concentración (184,8 ítems/m²), seguido de Playa Blanca (168,8 ítems/m²), mientras que, Playa Galileas obtuvo la menor abundancia de MPs (7,2 ítems/m², Figura 90). Las playas con mayor concentración de MPs, a su vez fueron, las que presentaron mayores abundancias de basura marina, producto de la fragmentación o degradación que ocurre en las costas o por los vertimientos de las desembocaduras en el mar (Law, 2017). El hecho de que la Playa Los Córdoba haya presentado mayores abundancias, tanto en basura marina como en microplásticos, con respecto a las otras playas turísticas, podría relacionarse con la incidencia del río Córdoba o las quebradas Gallinazo y la Panchita que traen consigo algunos residuos (CMGRD, 2012).

Los resultados del diagnóstico actual muestran similitudes con los datos recopilados en 2022. Playa Los Córdoba sigue siendo la estación con la mayor concentración de microplásticos, aunque se observa un aumento significativo con respecto al año anterior, pasando de 12 ítems/m² a 184,8 ítems/m² en 2023. Por otro lado, en Playa Galileas, que anteriormente tenía una presencia de 60 ítems/m² de microplásticos, se registró una considerable reducción a 7,2 ítems/m². Con respecto a playa blanca se evidenció un aumento considerable, pasando de 0 ítems/m² a 168,8 ítems/m² (INVEVAR, 2023a). Estos resultados respaldan la tendencia de mayores concentraciones de microplásticos y su

acumulación en áreas con actividades turísticas y antrópicas, altas cantidades de basura marina y la influencia de ríos y desembocaduras.

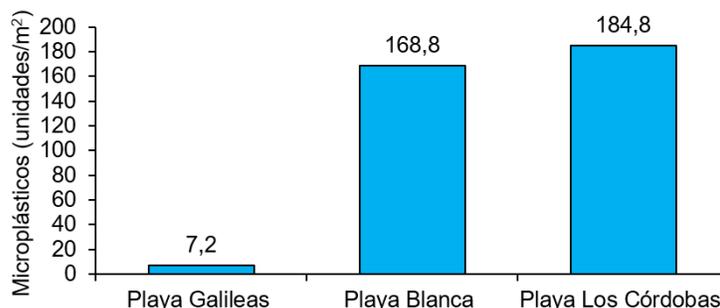


Figura 90. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas turísticas de Córdoba, colectadas en julio de 2023.

Con respecto a los tipos de microplásticos presentes en las playas turísticas de Córdoba; se evidenciaron microplásticos de origen primario tipo pellets y gránulos, y de origen secundario; espumas, filamentos, fragmentos y películas (Figura 91). Las formas de microplásticos con mayor representación correspondieron a los fragmentos (71,8 %) y a los pellets (8,6%), que por su origen, respectivamente, provendrían del desgaste de plásticos de mayor tamaño (Cole et al., 2011) o la manufactura industrial como precursor directo de los plásticos con fines estéticos o higiénicos (Boucher & Friot, 2017).

La composición de microplásticos de origen secundario está relacionada con las actividades turísticas, lo cual coincide con los resultados de investigaciones realizadas en otras playas turísticas de Colombia, donde la presencia de microplásticos está fuertemente asociado al turismo, manejo inadecuado de residuos sólidos, actividades de acuicultura y pesca y en general a materiales que son transportados por escorrentías y vientos hasta las playas (Garcés-Ordóñez et al., 2021). Además, no se descarta la posible procedencia de estos tipos desde los ríos que tributan en las playas turísticas de Córdoba.

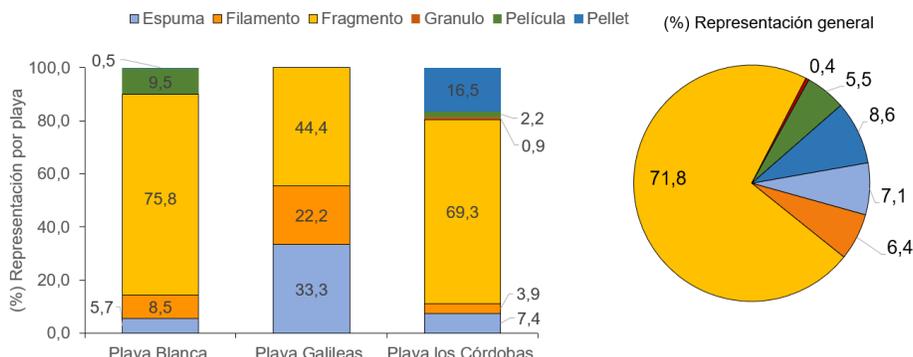


Figura 91. Porcentajes de representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas de Córdoba, julio de 2023.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El análisis del ICAM para el año 2023 mostró que las condiciones inadecuadas del agua marina y estuarina en algunas estaciones del departamento de Córdoba, se debe a la presencia de altas concentraciones de nitrato y Coliformes Termotolerantes, provenientes de aguas residuales, de escorrentías y de las descargas del río Sinú y la quebrada Gallinazo en Los córdobas, en las cuales, debido a las condiciones de calidad, hay restricciones para su uso. Estos resultados subrayan la necesidad de generar políticas orientadas al saneamiento y gestión sostenible del recurso hídrico, especialmente en áreas cercanas a sitios de descarga de aguas residuales y muestra la importancia de dar continuidad al monitoreo para validar la eficacia de las medidas de gestión y conservación que se diseñen para preservar la calidad del agua y proteger los ecosistemas acuáticos en las zonas de Cantarillo, Tinajones, Moñitos, Los Córdoba y en Sinú – Tinajones.
- Los análisis de calidad sanitaria, evidencian que en las estaciones Moñitos y Puerto Escondido persisten altas concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal como son los Coliformes Totales, Coliformes Termotolerante y Enterococos Fecales, los cuales superan los límites permisibles establecidos por la legislación colombiana y las referencias internacionales para contacto primario y secundario. Esta situación indica un deterioro continuo en la calidad del agua, destacando la necesidad de implementar medidas integrales que aborden el manejo de aguas residuales, fortalezcan la infraestructura sanitaria y regulen las actividades humanas en estas áreas, con el fin de preservar la salud ambiental y comunitaria de la región.
- Los sedimentos de la estación frente a Tinajones, tienen concentraciones de Cr, Cu y Hg, por encima de los valores de referencias para efectos umbral (TEL) propuestos por la NOAA, resultados similares a los evidenciados en el año 2022, por lo que se hace necesario evaluar el estado ecológico de la bahía, las fuentes de contaminación de estos metales y desarrollar medidas preventivas para mitigar el impacto.
- La basura marina y los microplásticos evidenciados en playa de Los Córdoba y Galileas del municipio de Los Córdoba, muestra la influencia de actividades antropogénicas en el entorno costero. Se resalta la urgencia de identificar con precisión las fuentes de esta contaminación, tanto directas como difusas, para desarrollar estrategias de gestión ambiental enfocadas en mitigar los impactos negativos sobre los ecosistemas marinos. El abordaje efectivo de este problema demanda un enfoque holístico que incluya la comprensión detallada de las actividades locales que contribuyen a la liberación de los residuos sólidos, así como la implementación de medidas adaptativas y sostenibles que preserven la salud de estos entornos costeros y sus ecosistemas marinos.



DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

*José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Laura Paola Fragozo Velázquez – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR*

13. ANTIOQUIA

La zona costera del departamento de Antioquia abarca los municipios de Arboletes, San Juan de Urabá, Necoclí y Turbo. Esta región se distingue por su rica biodiversidad, incluyendo playas de arena, manglares, lagunas costeras, estuarios y formaciones coralinas. En esta zona desembocan los ríos Atrato, Guadualito, Mulatos, Necoclí, Currulao, León y Turbo. La influencia clave de la hidrodinámica del delta del río Atrato y la contracorriente del Darién, que determinan el contraflujo del golfo de Urabá, añade complejidad a los procesos marinos locales ([Ricaurte-Villota & Bastidas, 2017](#)).

Esta zona está sujeta a influencias urbanas, industriales y agrícolas; y tiene diversos problemas ambientales, como los vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento y la inadecuada disposición de residuos sólidos. Las actividades agrícolas intensivas, la ganadería, el comercio, el turismo y la actividad marítima portuaria también contribuyen a estas problemáticas ([INVEMAR, 2023a](#)).

La REDCAM cuenta con estaciones de muestreo distribuidas en cuatro zonas (Figura 92). SJ Urabá, ubicada al norte del departamento de Antioquia que limita con Arboletes, es una región costera estratégica que alberga una rica diversidad biológica, con hábitats que incluyen manglares, estuarios, volcán de lodo y zonas de influencia de ríos; Golfo Medio, Golfo Alto, y Bahía Colombia representan un área donde convergen múltiples factores ambientales y antropogénicos.

El análisis histórico de salinidad mostró que la mayoría de las estaciones del departamento tienen un comportamiento de tipo estuarino (Figura 93). Las estaciones R. Turbo-bocatoma en el Golfo Medio, B. Atrato Matuntugo, R. Currulao y R. León en Bahía Colombia fueron clasificadas como aguas dulces. Por otro lado, las estaciones P. Arbolete y P. Uveros en San Juan de Urabá y P. Lechugal en el Golfo Alto mostraron una tendencia histórica de tipo agua marina, tanto en época seca como lluviosa. En términos generales, estas estaciones se encuentran influenciadas por mareas, que establecen una conexión con el medio marino, lo que provoca el aumento de la salinidad.

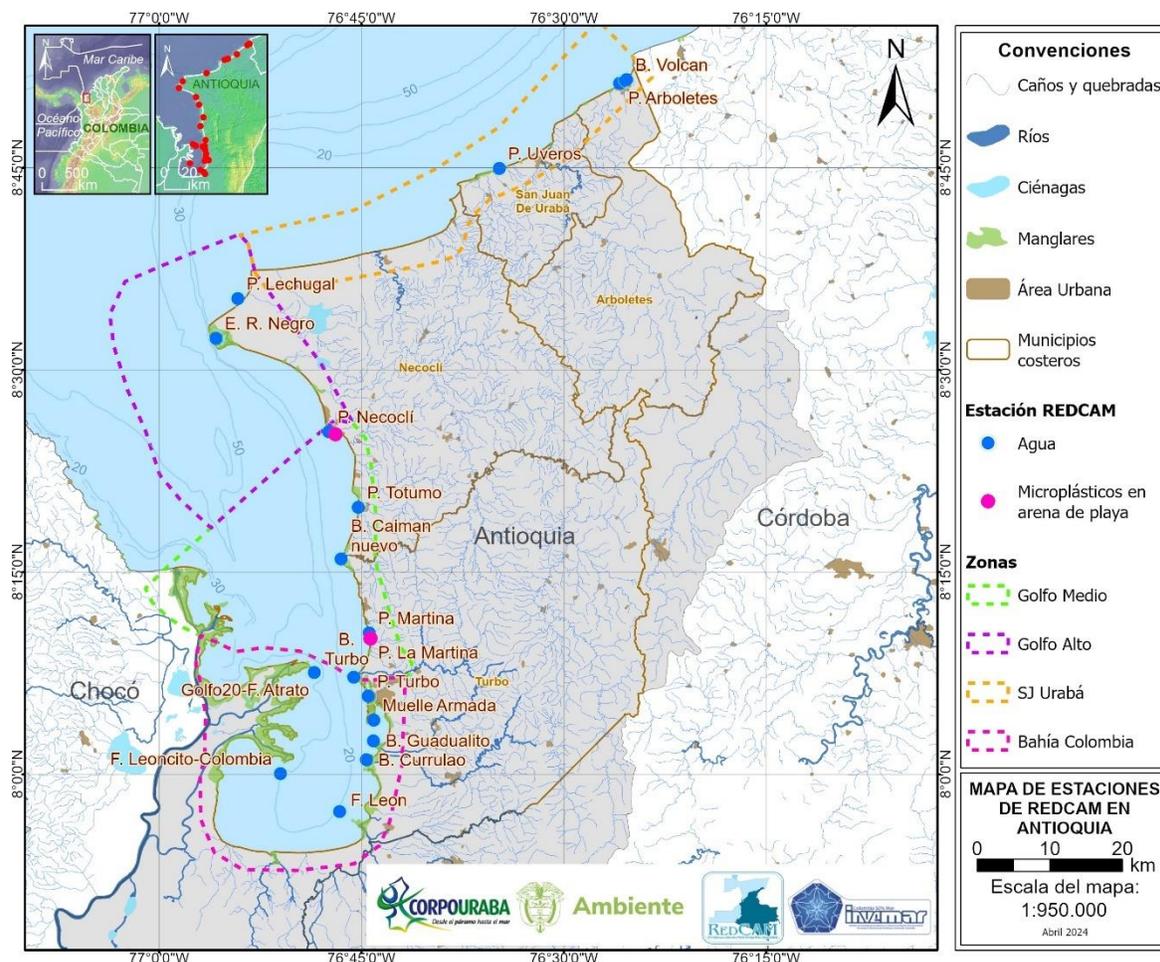


Figura 92. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento de Antioquia. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

Por otro lado, se identificó que algunas estaciones no siguen una tendencia común de valores de salinidad altos en la época seca, o valores bajos en época lluviosa. En particular, las estaciones del Golfo Medio (P. Martina, P. Necoclí y P. Totumo), Golfo Alto (P. Lechugal) y Bahía Colombia (Bahía Colombia, F. León, F. Leoncito-Colombia, Muelle Ahumada y P. Turbo) exhibieron los mayores valores de salinidad durante la época lluviosa. Esto se atribuye a las características oceánicas y a la configuración geográfica de la costa del golfo de Urabá, junto con la intensidad de los vientos que impiden la libre salida de las aguas hacia el océano, generando una abrupta disminución de la salinidad durante la época seca (Ricaurte-Villota & Bastidas, 2017). Además, se destaca la prolongada duración de la época lluviosa debido a las elevadas precipitaciones propias de la zona.

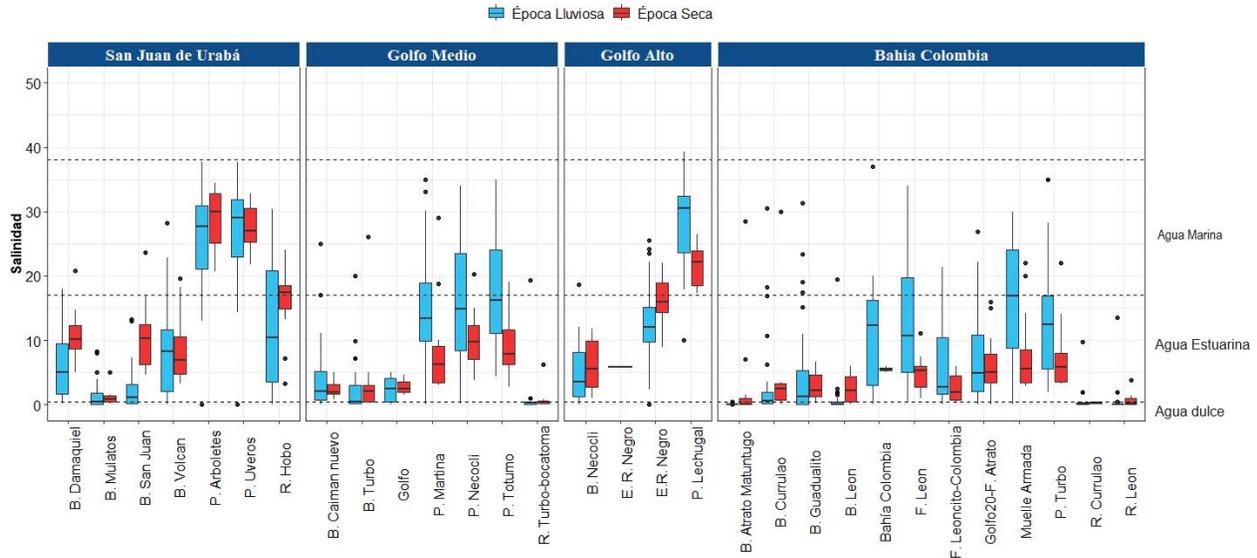


Figura 93. Representación histórica (2001-2023) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Antioquia, diferenciado por zona de muestreo; y entre época climática: lluviosa (color azul) y seca (color rojo). Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0,25 y 0,75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).

La evaluación del ICAM en las estaciones del departamento de Antioquia, mostró variaciones en las categorías que van desde una calidad adecuada hasta una calidad pésima (Figura 94). Las estaciones F. Leoncito-Colombia, Golfo20-F. Atrato, P. Martina, P. Totumo y P. Necoclí mostraron valores ICAM entre 50,41 y 62,78, clasificándose como categoría aceptable. Solamente en las estaciones Muelle Armada y P. Turbo, la calidad del agua estuvo en categoría adecuada, con valores ICAM de 76,3 y 76,1 respectivamente. Entre las estaciones evaluadas, la situación más preocupante se evidenció en la estación B. Caimán Nuevo, donde el ICAM de 21,68, muestra una categoría pésima, principalmente por altas concentraciones de Coliformes Termotolerantes, nitratos y clorofila a. Por otro lado, en las estaciones F. León, E. R. Negro, P. Uveros y P. Arboletes, la calidad del agua estuvo en categoría inadecuada, debido a las altas concentraciones de clorofila a, Coliformes Termotolerantes y nitrato, y valores bajos de pH. Estos resultados muestran la necesidad de intervenciones específicas en estas áreas para mejorar la calidad del agua, así como la importancia de un monitoreo continuo para comprender las dinámicas cambiantes de la calidad del agua marina y costera.

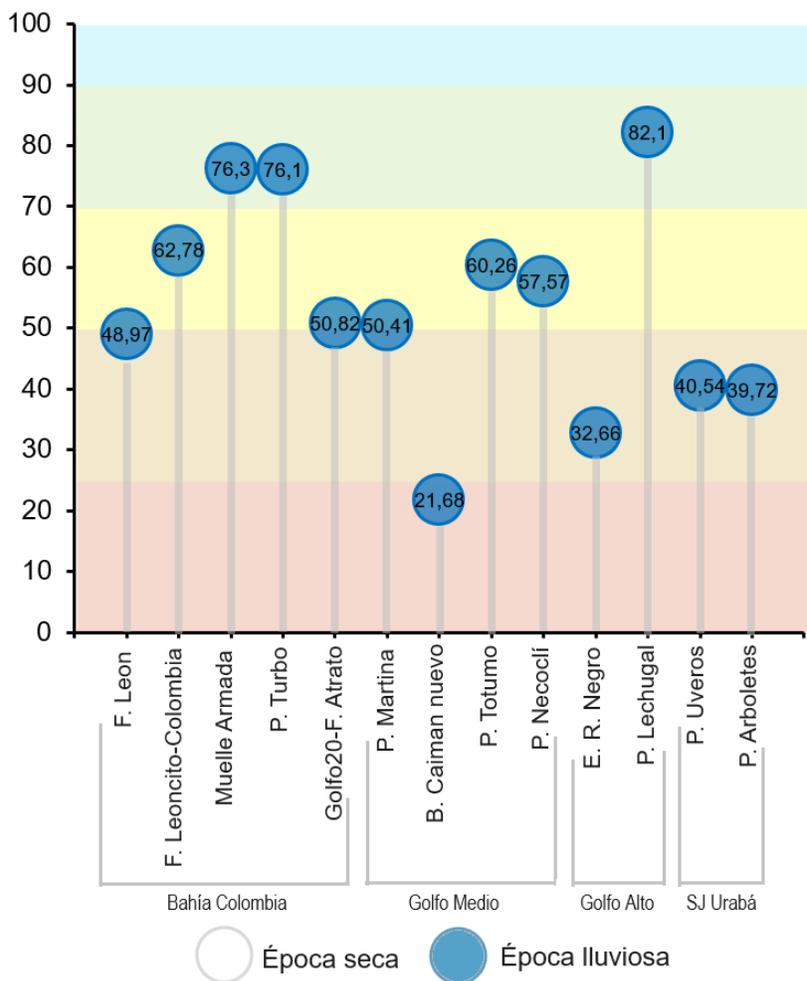


Figura 94. Calidad de agua de las aguas marinas y costeras de las estaciones REDCAM de Antioquia evaluadas con el ICAM, en el muestreo de octubre del año 2023.

Las concentraciones de CTE variaron entre 200 y 1.600.000 NMP/100 mL; valores que están por encima del límite permisible (<200 NMP/100 mL de CTE; [MinAmbiente, 2015](#)), con excepción en las estaciones P. Lechugal y F. Leoncito-Colombia, donde las concentraciones de CTE mantuvieron dentro del límite (Figura 95). Las concentraciones de CTT mostraron un patrón similar, con valores que oscilaron entre 240 y 1.600.000 NMP/100 mL. La mayoría las estaciones superaron considerablemente el límite permisible, a excepción de P. Lechugal y P. turbo. Se destaca la estación B. Volcán, en donde se registraron las concentraciones más altas de CTE y CTT, las cuales superaron considerablemente el límite permisible (Figura 95).

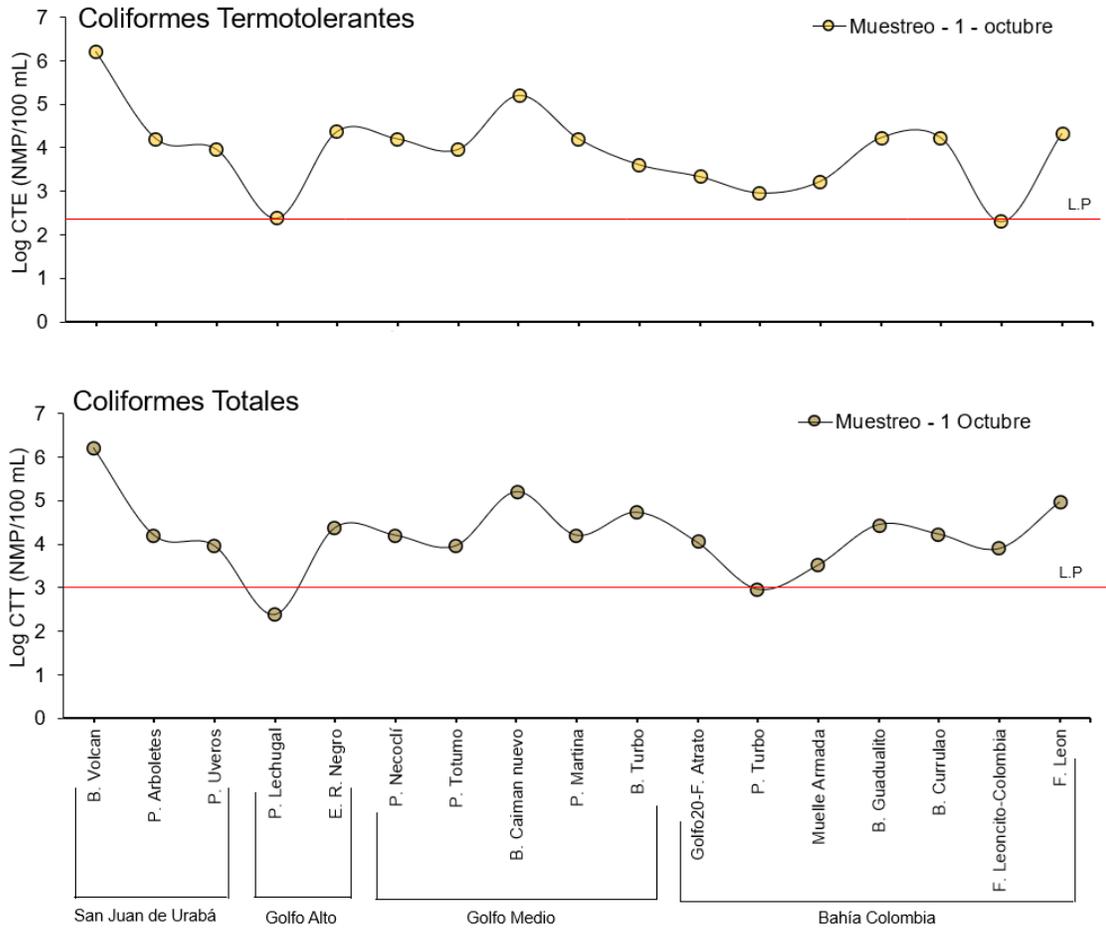


Figura 95. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Antioquia, muestreo del 2023. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 ml o 2,3 log (NMP/100 ml) para CTE, 1000 NMP/100 ml o 3 log (NMP/100 ml) para CTT. L.P: Límite Permissible.

Las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) estuvieron por debajo del valor de referencia propuesto por la [Unión-Europea \(2006\)](#) (100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL)), con excepción de la estación de P. Arboletes, P. Uveros ubicadas en San Juan de Urabá, y P. Necodí en la zona del Golfo Medio. Sin embargo, la mayoría de estaciones presentaron concentraciones por encima del valor de referencia de 40 UFC/100 mL establecido por la [OMS \(2003\)](#). Estos resultados evidencian un estado similar de la calidad microbiológica en comparación con años anteriores, asociado a actividades antropogénicas como el turismo, el deficiente manejo de las aguas residuales y los residuos sólidos de los municipios costeros, debido a la falta de cobertura en saneamiento básico adecuado en estas poblaciones ([INVEMAR, 2020; 2023a](#)) (Figura 101).

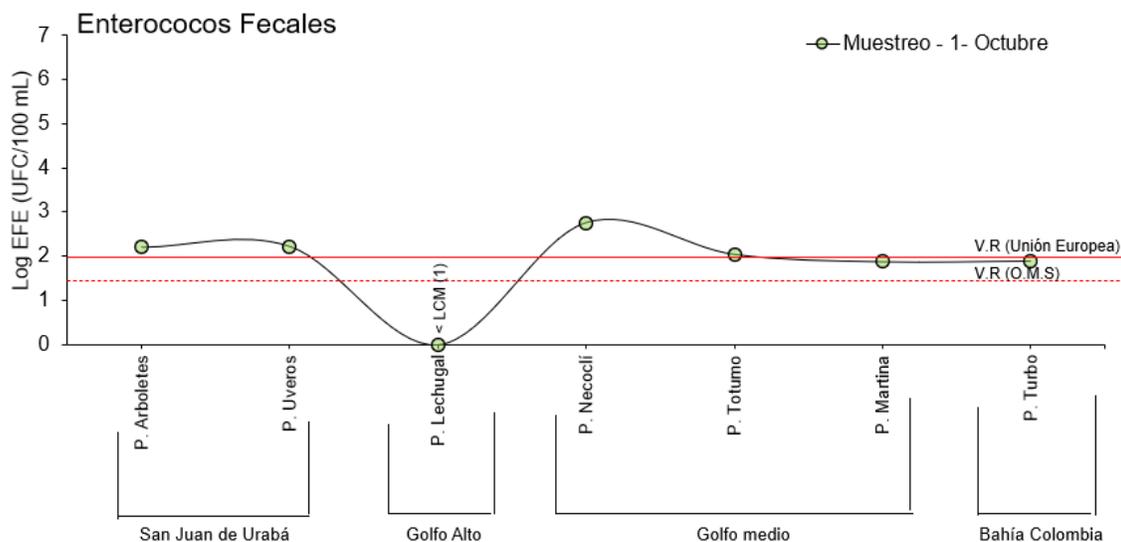


Figura 96. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Antioquia 2023. Línea roja: valor de referencia del límite permisible 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL; Unión-Europea 2006) y la línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL; OMS, 2003). V.R: Valor de referencia.

Históricamente, la calidad microbiológica de las aguas en los sitios turísticos P. Turbo, P. Totumo, P. Necoclí, P. Martina, P. Lechugal, B. Damaquiel, P. Uveros y P. Arboletes, han presentado un nivel de cumplimiento medio y bajo con respecto a los valores de referencia establecidos para el uso recreativo de contacto primario (<math>< 200 \text{ NMP}/100 \text{ mL}</math> de CTE y <math>< 1000 \text{ NMP}/100 \text{ mL}</math> de CTT) (MinAmbiente, 2015) (Figura 97). En el 2023, todas las estaciones monitoreadas presentaron un nivel de cumplimiento bajo para concentraciones de CTE y CTT, con excepción de P. Turbo y P. Lechugal para concentraciones de CTT.

En el 2021 se dio inicio a las mediciones de EFE, presentándose en su mayoría un nivel de cumplimiento bajo, a excepción de P. Lechugal y P. Martina que presentaron un cumplimiento alto. Para 2023, las concentraciones de EFE, estuvieron por encima del valor de referencia para uso recreativo de contacto (<math>< 100 \text{ UFC}/100 \text{ mL}</math> de EFE), establecido por Unión Europea, (2006). Sin embargo, las estaciones P. Lechugal, P. Martina y P. Turbo mantuvieron un nivel de cumplimiento alto, con concentraciones que no superaron este valor de referencia (Figura 97).

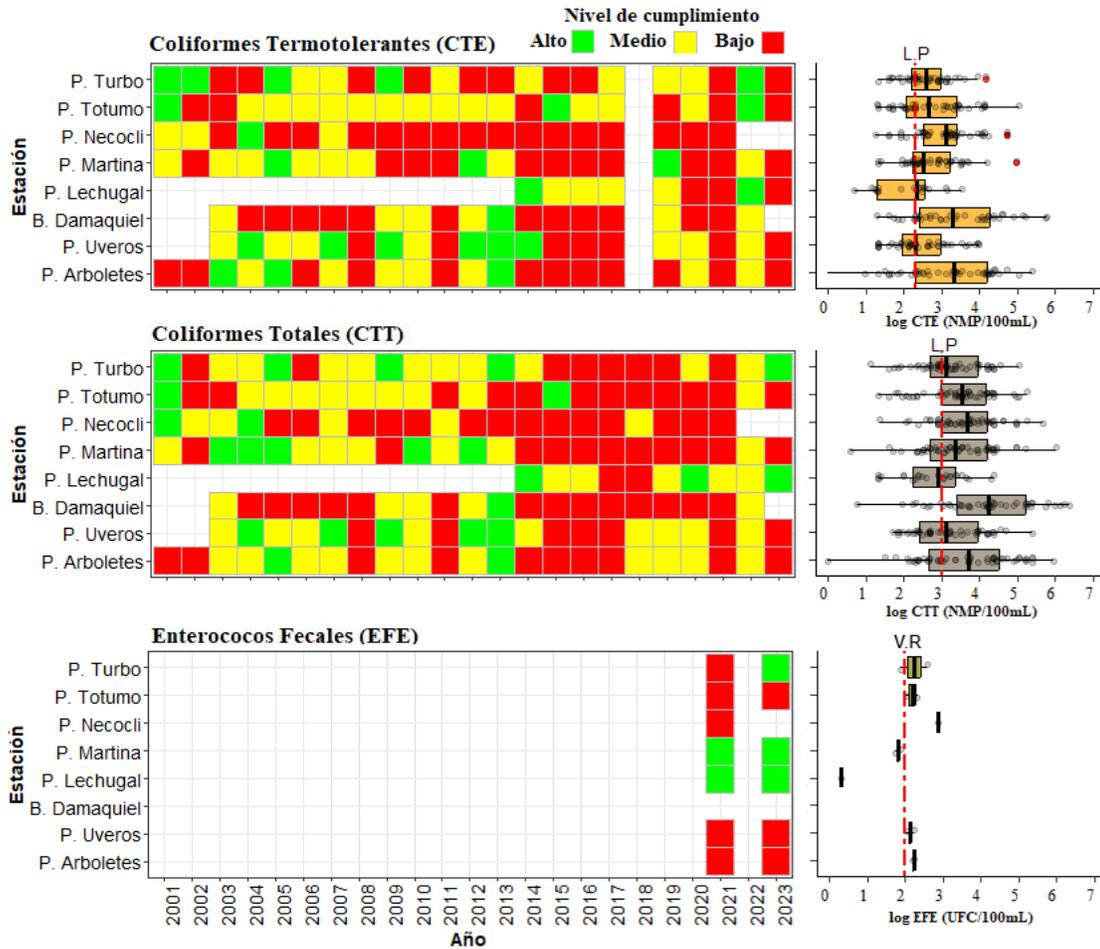


Figura 97. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Antioquia. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 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. V.R.: Valor de referencia.

BASURA MARINA Y MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS TURÍSTICAS

En octubre de 2023 (época lluviosa), se evaluó la contaminación por microplásticos, en dos (2) playas turísticas del departamento de Antioquia, Necocli y La Martina. En las dos playas, la abundancia de microplásticos (partículas plásticas inferiores a los 5 mm fue 20 ítems/m² en la playa La Martina y 22,4 ítems/m² en la playa Necocli (Figura 98). Estos resultados, son más bajos que los obtenidos en el estudio de [Garcés-Ordóñez et al. \(2020b\)](#) donde reportan una abundancia total de 150 y 200 ítems/m² en estas mismas playas.

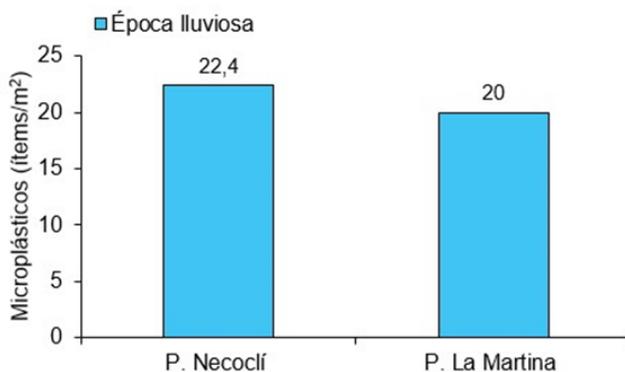


Figura 98. Abundancia de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas de Antioquia, colectadas el 24 de octubre de 2023.

Las formas de microplásticos más abundantes en estas dos playas fueron las espumas (45,28%), seguidas de fragmentos (33,96%), y en menor proporción filamentos (7,55%), películas (7,55%) y pellets (5,66%) (Figura 99). Lo que indica que la mayoría de los microplásticos encontrados, son de origen secundario, provenientes de la degradación in situ de plásticos de mayor tamaño o incluso, por los aportes del río Atrato, uno de los ríos más caudalosos de Colombia (Bernal *et al.*, 2005). Los microplásticos de origen primario como los pellets, los cuales son manufacturados directamente por la industria como componente de diferentes productos, se encontraron en menos proporción (5,66%) (Boucher y Friot, 2017).

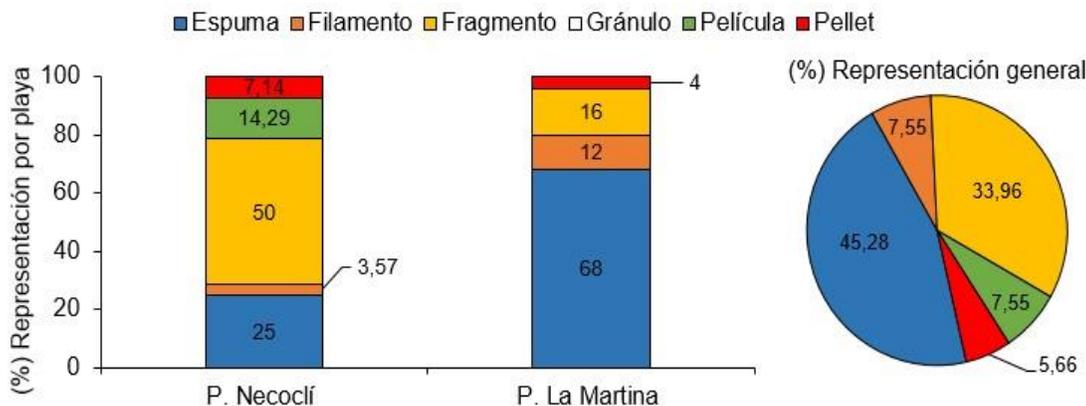


Figura 99. Porcentajes de la representación de microplásticos caracterizados según su forma a partir de muestras de arena de playa turística de Antioquia, colectadas el 24 de octubre de 2023.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El análisis del ICAM mostró que las condiciones inadecuadas del agua marina y estuarina en algunas estaciones del departamento de Antioquia se deben a la presencia de altas concentraciones de nutrientes y Coliformes Termotolerantes, provenientes de aguas residuales y escorrentías. Estos resultados subrayan la necesidad de generar políticas orientadas al saneamiento y gestión sostenible del recurso hídrico, especialmente en áreas cercanas a sitios de descarga de aguas residuales. Asimismo, muestran la importancia de dar continuidad al monitoreo para validar la eficacia de las medidas de gestión y conservación que se diseñen para preservar la calidad del agua y proteger los ecosistemas acuáticos en las zonas afectadas del departamento de Antioquia.
- Los análisis de calidad sanitaria de las playas turísticas Totumo, Martina, Damaquiel, Uveros y Arboletes en los últimos cinco años evidencian niveles de calidad medios y bajos para su uso recreativo, debido a las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal, Coliformes Termotolerantes y Totales que superan los criterios establecidos por la normatividad colombiana y los valores de referencia internacionales para Enterococos Fecales. Esta situación indica un deterioro continuo en la calidad del agua, destacando la necesidad de implementar medidas integrales que aborden el manejo de aguas residuales, fortalezcan la infraestructura sanitaria y regulen las actividades humanas en estas áreas. Estas acciones son fundamentales para preservar la salud ambiental y comunitaria de la región.
- Los microplásticos reportados en la arena de las dos (2) playas turísticas muestreadas en el departamento de Antioquia en octubre del año 2023, demuestran que hay contaminación por microplásticos. Por lo que es necesario continuar con las investigaciones y agregar más áreas de estudio, con el fin de comprender el comportamiento y distribución de esta contaminación. Así como, identificar las principales fuentes para desarrollar estrategias que ofrezcan soluciones integrales a esta problemática.



DEPARTAMENTO DE
CHOCÓ

*Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR*

14. CHOCÓ

El departamento de Chocó, tiene costas en el Caribe y el Pacífico colombiano, abarca las regiones de Acandí, Unguía, Juradó, Bahía Solano, Nuquí, Bajo Baudó y Litoral del San Juan. Esta región, se caracteriza por ser una de las zonas más lluviosas del país ([Rangel-Ch & Arellano, 2004](#)). En sus áreas marinas y costeras, se encuentran diversos ecosistemas, como manglares, formaciones coralinas, playas, estuarios y acantilados ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#)).

En el contexto de la REDCAM, el departamento cuenta con estaciones de muestreo distribuidas en dos zonas geográficas (Figura 100). La zona de Bahía Solano, caracterizada por la presencia de la serranía del Baudó, donde se realizan actividades como la pesca y el turismo; y la zona Golfo Tribugá, que se extiende desde la playa Almejal hasta Nuquí, comprende el Parque Nacional Natural Utría y la Ensenada de Tribugá, que son áreas estratégicas para la conservación de la fauna y flora marina y costera.

El análisis histórico de la salinidad del agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Chocó monitoreadas hasta septiembre de 2023, se interpretó considerando la clasificación de las aguas por los valores de salinidad propuestos por [Knox \(2001\)](#) (Figura 101). De las 16 estaciones, el 69% se clasificaron como aguas marinas, el 19% como agua estuarina que corresponde a las estaciones R. Jella, Jurubidá estero y R. Nuquí y 12% como agua dulce que corresponde a las estaciones Q. Chocolatal y R. Valle.

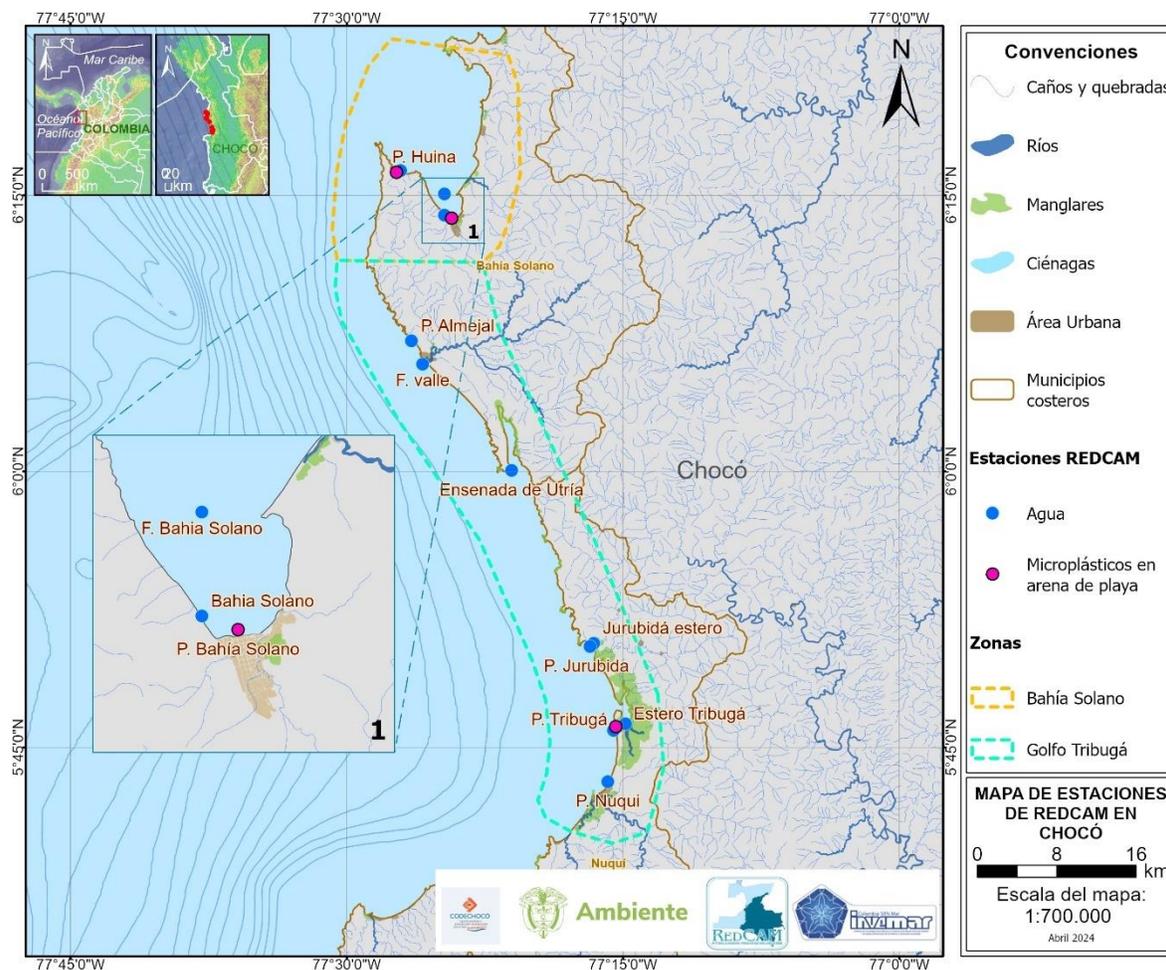


Figura 100. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento del Chocó. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

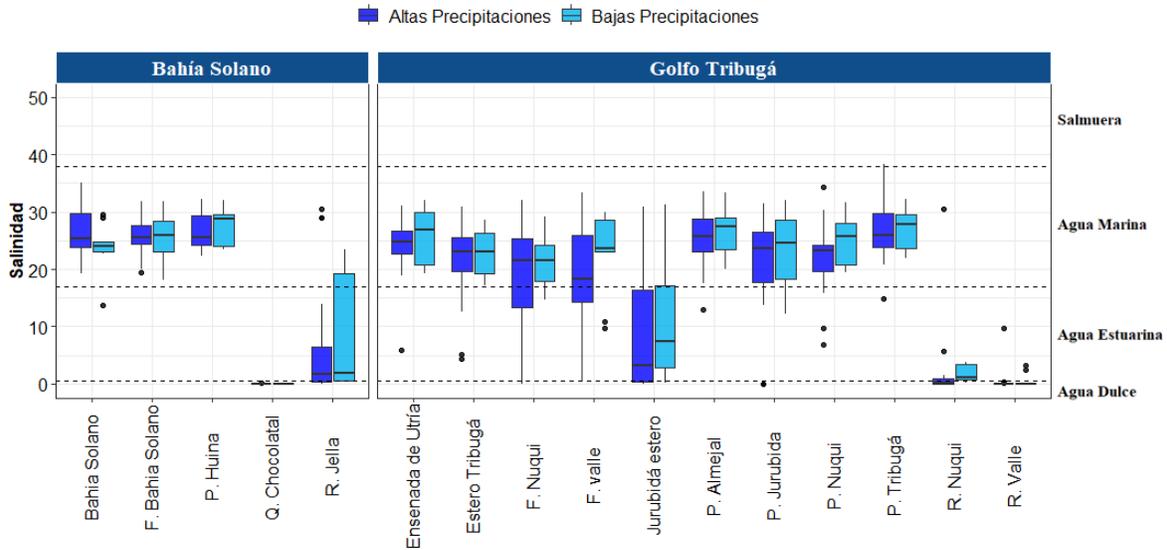


Figura 101. Variación histórica (2001-2023) de la salinidad del agua en las estaciones y zonas REDCAM en Chocó. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).

El monitoreo REDCAM en el departamento del Chocó, se realizó en la época de altas precipitaciones. Las estaciones P. Almejal, Ensenada de Utría, P. Tribugá, Estero Tribugá, Bahía Solano, F. Bahía Solano y P. Jurubidá no cumplieron con el número mínimo de variables requeridas según las limitaciones del ICAM, lo que imposibilitó la estimación de los subíndices que integran su ecuación. En las demás estaciones el análisis del ICAM mostró calidad del agua superficial inadecuada en las estaciones F. Valle y Jurubidá Estero, es con un ICAM de 42,79 y 31,71 respectivamente. Calidad aceptable en P. Nuquí y P. Huina, con valores ICAM de 65,57 y 64,47, respectivamente (Figura 102). Estos resultados indican preocupaciones respecto a la calidad del agua debido a concentraciones elevadas de clorofila a, fosfatos y Coliformes.

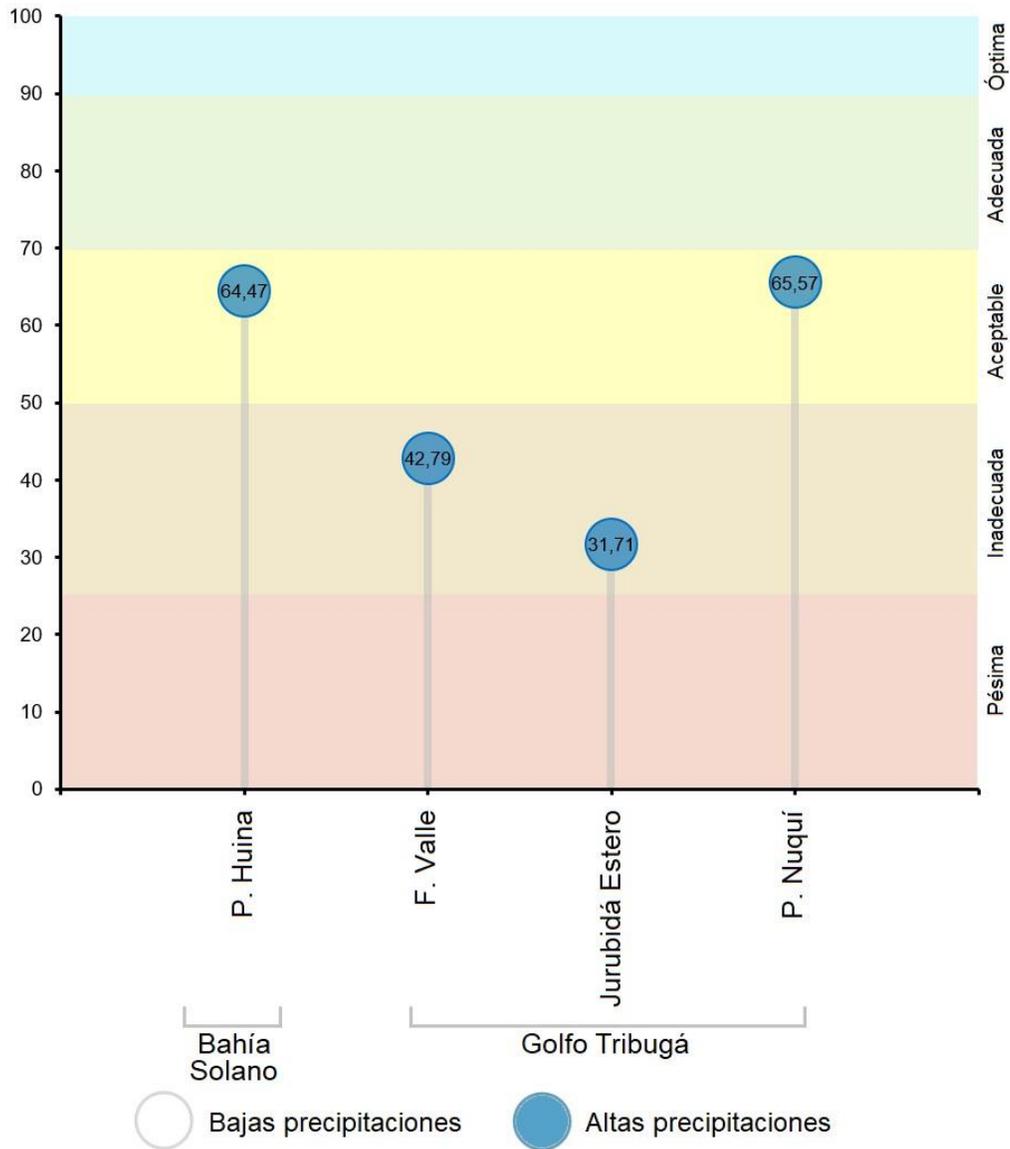


Figura 102. Calidad de agua de las aguas marinas y costeras de las estaciones REDCAM del Chocó evaluadas con el ICAM, en el muestreo de septiembre del año 2023.

En las estaciones ubicadas en la zona de Bahía Solano y el Golfo Tribugá, se analizó el carbono orgánico total (COT). Las concentraciones estuvieron entre 2,55 y 3,93 mg COT/L (Figura 103). Las mayores concentraciones se registraron en las estaciones Estero Tribugá (3,93 mg COT/L) y Jurubidá estero (3,55 mg COT/L), con características marinas y estuarinas respectivamente. Estas concentraciones fueron superiores a las reportadas en el año 2021 ([INVEMAR, 2023a](#)).

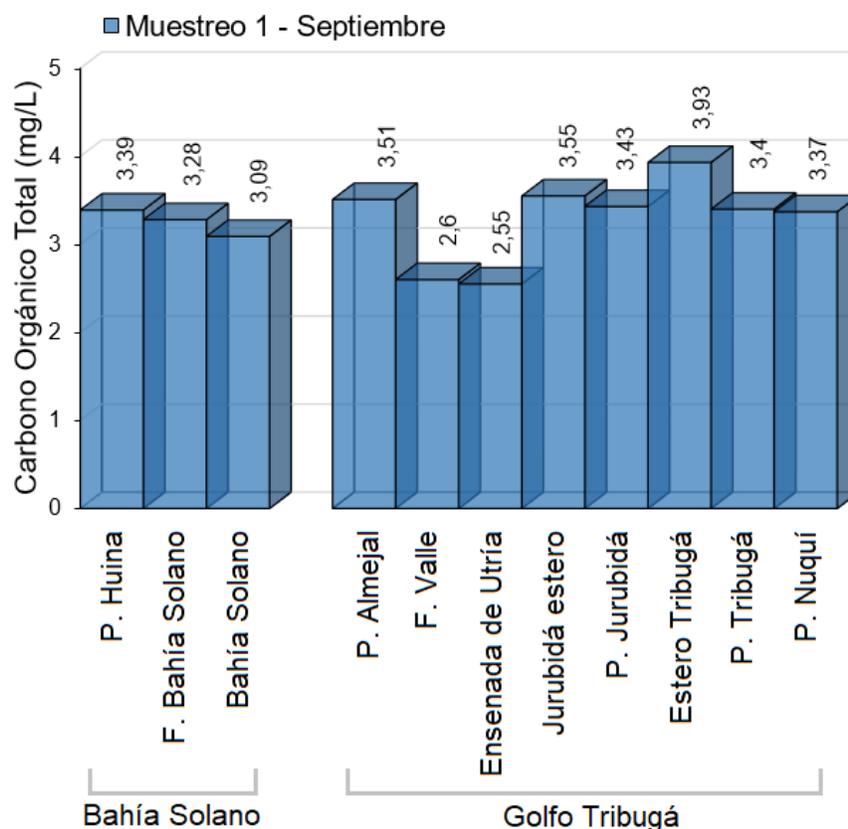


Figura 103. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en 2023 en el departamento de Chocó. Barras azules representan época de altas precipitaciones.

La calidad del agua para uso recreativo se determinó a partir de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT), contrastados con los límites permisibles para uso recreativo de contacto primario establecidas en la legislación nacional (<200 NMP/100 mL de CTE, <1.000 NMP/100 mL de CTT; [MinAmbiente, 2015](#)); y las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE), contrastadas con los valores de referencia establecidos por la [Unión-Europea \(2006\)](#) (<100 UFC/100 mL de EFE).

En el muestreo del año 2023, todas las estaciones de la zona Bahía Solano y las estaciones Jurubidá estero, Estero Tribugá, P. Tribugá y P. Nuquí, presentaron concentraciones de CTE y CTT por encima del límite permisible para contacto primario y la estación F. Valle para CTT (CTE= 200 NMP/100 mL o 2,3 log NMP/100 mL, y CTT= 1.000 NMP/100 mL o 3 log NMP/100 mL) (Figura 104). Mientras que el resto de las estaciones presentaron concentraciones por debajo del límite permisible.

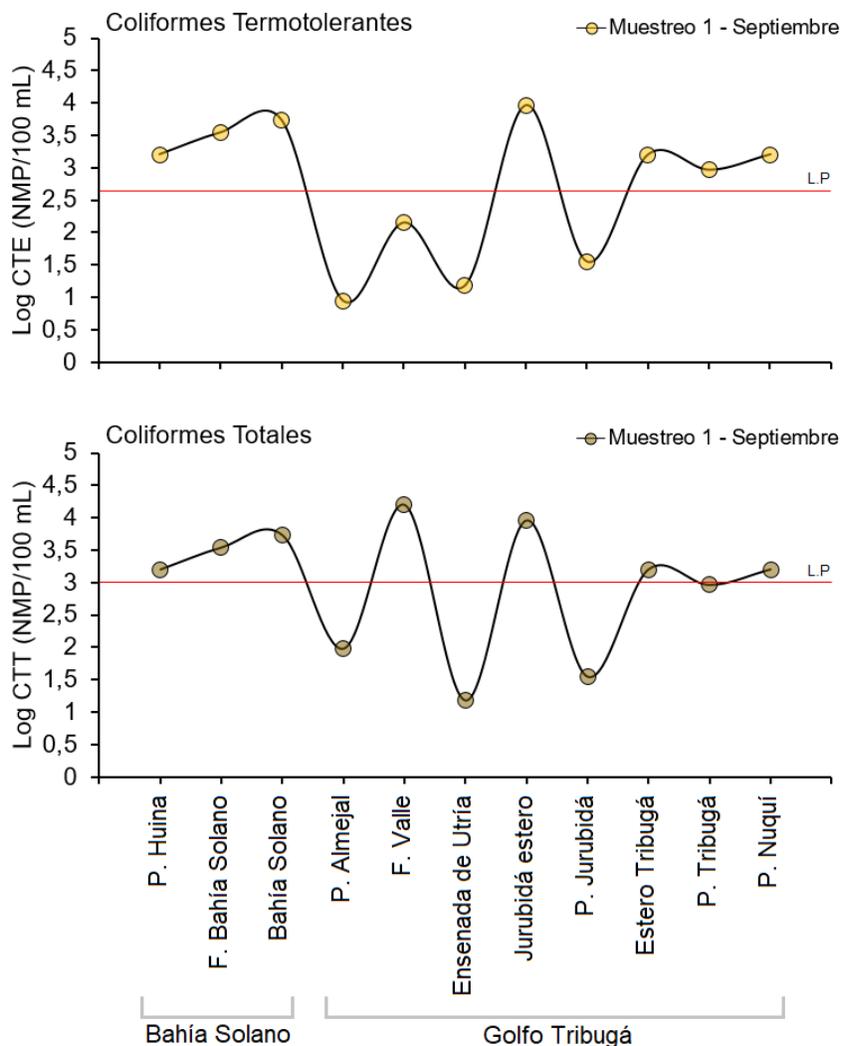


Figura 104. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Chocó, muestreo del 2023. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 ml o 2,3 log (NMP/100 ml) para CTE, 1000 NMP/100 ml o 3 log (NMP/100 ml) para CTT. L.P: Limite Permisible.

En la zona Bahía Solano, la estación F. Bahía Solano presentó concentraciones de EFE por encima del límite permisible (100 UFC/100 mL o 2 log UFC/100 mL), mientras que en la estación Bahía Solano se registró una concentración por encima del valor de referencia establecido por la [OMS \(2003\)](#) de >40 UFC/100 mL que representa un riesgo >1% y de 0,3% de contraer enfermedades Gastrointestinales y respiratorias febril aguda respectivamente (Figura 105). En la estación Jurubidá estero de la zona Golfo Tribugá fue en la única que se registraron concentraciones de EFE por encima del límite permisible (100 UFC/100 mL o 2 log UFC/100 mL).

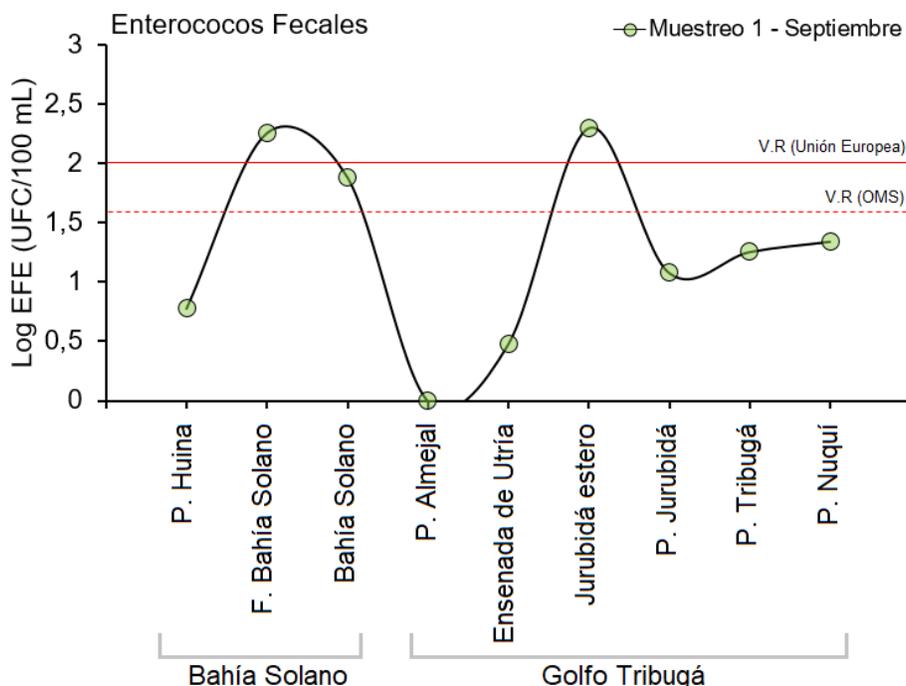


Figura 105. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Chocó 2023. Línea roja: valor de referencia del límite permisible 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL; Unión-Europea 2006) y la línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL; OMS, 2003). V.R: Valor de referencia.

Los registros históricos de las concentraciones de CTE y CTT mostraron que en la mayoría de años, en las estaciones P. Jurubidá, Bahía Solano y P. Nuquí hubo un nivel de cumplimiento medio y bajo. Las estaciones P. Nuquí, P. Tribugá, Bahía Solano y P. Huina, presentaron un deterioro de la calidad del agua, pasando de niveles de cumplimiento alto en el año 2022 a niveles de cumplimiento bajo en el año 2023, debido a que las concentraciones de CTE y CTT estuvieron por encima del límite permisible de calidad de agua para uso recreativo establecido por [MinAmbiente \(2015\)](#) (CTE<200 NMP/100 mL y CTT<1.000 NMP/100 mL), con excepción de P. Tribugá para CTT. Estos resultados están asociados a las actividades de turismo tradicional, descargas directas de aguas residuales y las altas precipitaciones del sector (Figura 106).

En cuanto a las concentraciones de EFE, la mayoría de las estaciones han presentado niveles de cumplimiento alto durante todos los años, con excepción de P. Nuquí el el muestreo de abril 2017, cuando se registraron concentraciones de EFE de 288 UFC/100 mL y septiembre 2018 con concentraciones de EFE de 140 UFC/100 mL; y en Bahía Solano en noviembre de 2021 con concentraciones de 134 UFC/100 mL (Figura 106).

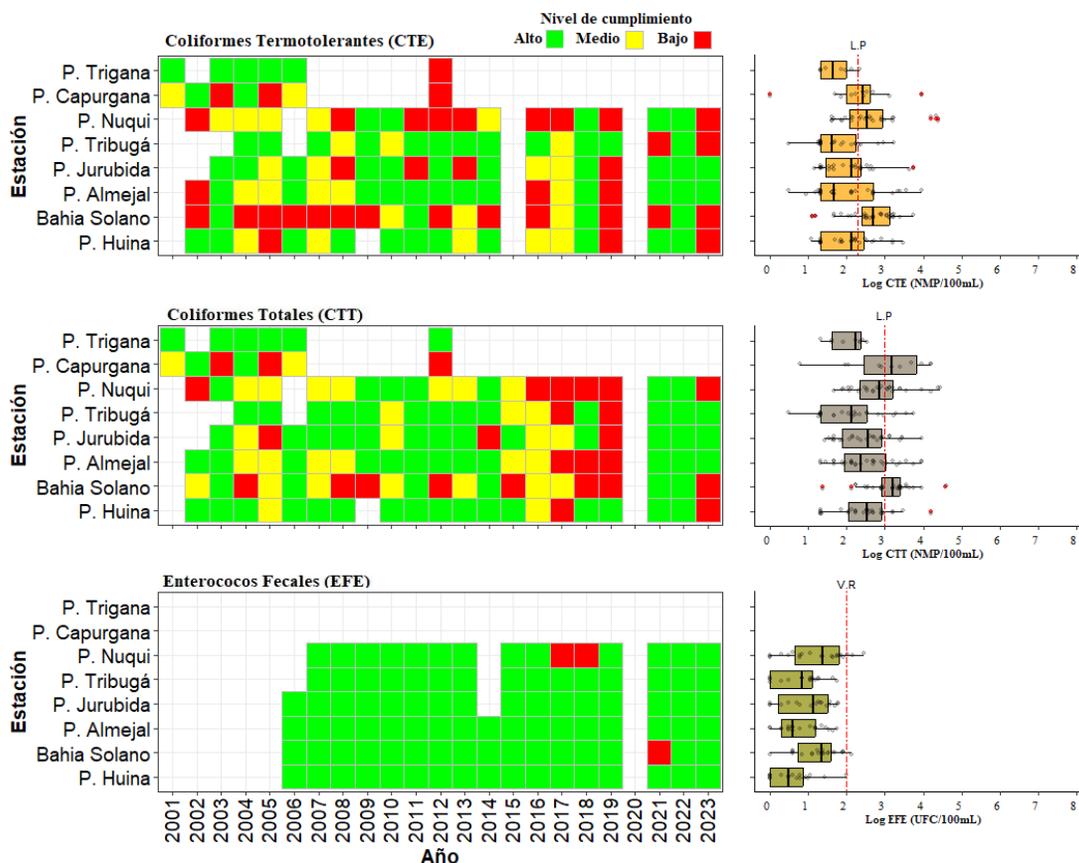


Figura 106. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Chocó. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 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 Permissible. V.R.: Valor de referencia-

BASURA MARINA Y MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS TURÍSTICAS

La concentración de microplásticos en la arena de tres playas turísticas del departamento de Chocó (P. Bahía Solano, P. Huina y P. Tribugá), osciló entre 8,8 a 10,4 ítems/m² (Figura 107). La mayor concentración se encontró en P. Huina, la cual fue similar a lo reportado en otras playas del Pacífico chocoano ([Garcés-Ordóñez et al., 2020](#)). Este resultado es producto de la dinámica de las mareas que facilitan el transporte de basura marina desde las zonas urbanas hacia las playas, donde tienden a acumularse y, posteriormente, experimentan degradación debido a la acción mecánica y fotooxidación ([Vidal et al., 2021](#)).

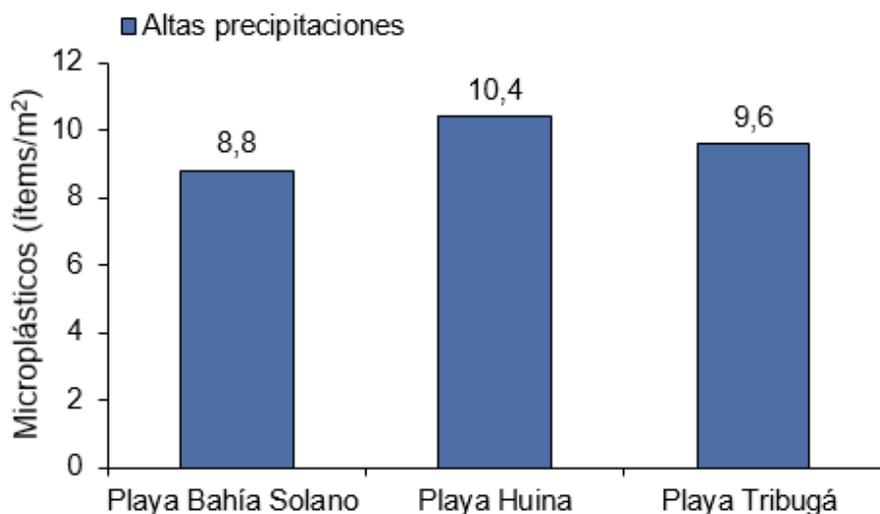


Figura 107. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playa de Chocó, colectados en el muestreo realizado en septiembre (época de altas precipitaciones) de 2023.

Las formas de microplásticos más abundantes fueron de origen secundario, en P. Bahía Solano, representaron el 36,36% tipo espuma, el 27,27% película, el 18,18% fragmento y otro 18,18% de filamento. En P. Huina, el 84,62% correspondió a filamentos y 15,38% espuma. En P. Tribugá, el 75% fueron fragmentos y el 25% película (Figura 108). En el año 2022, también fue reportada la presencia de microplásticos de origen secundario en P. Tribugá, siendo los filamentos los más prevalentes, con un 62,23% (INVEMAR, 2023a).

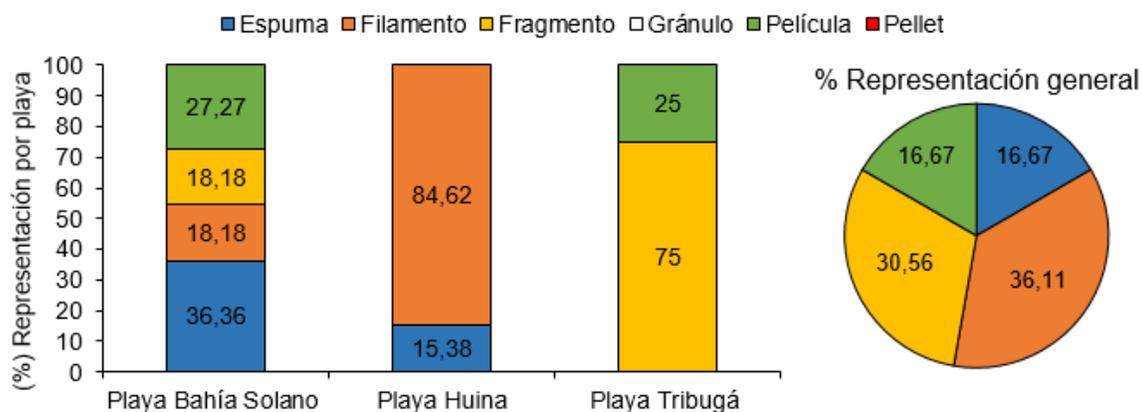


Figura 108. Porcentajes de representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas de Chocó, colectadas en el muestreo realizado en septiembre (época de altas precipitaciones) de 2023.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El análisis del ICAM, mostró que, durante la época de altas precipitaciones del año 2023, las estaciones Jurubidá Estero y F. Valle presentaron condiciones de la calidad del agua inadecuada, debido a las concentraciones de *clorofila a* y altas concentraciones de microorganismos Coliformes, producto del deficiente sistema de alcantarillado que facilita el vertimiento directo de aguas residuales. Es indispensable ampliar la cobertura de alcantarillado para disminuir el flujo de aguas residuales, que continúan deteriorando la calidad del agua constantemente.
- La calidad sanitaria de las playas Nuquí, Tribugá, Bahía Solano y Huina no es adecuadas para actividades turísticas o recreativas por contacto primario, debido a que los niveles de CTE y CTT superan los límites establecidos por la legislación nacional. Esto evidencia que existe contaminación microbiológica relacionada con el vertimiento de aguas residuales.
- En las playas turísticas del departamento del Chocó, P. Bahía Solano, P. Huina y P. Tribugá, se ha observado la presencia de microplásticos de origen secundario, principalmente el tipo filamento, los cuales provienen principalmente de aguas residuales domésticas debido a la deficiente de gestión de residuos en la región. Es necesario mejorar los sistemas de saneamiento básico y llevar a cabo estudios sobre la hidrología de la zona para comprender la dinámica de este contaminante emergente.



DEPARTAMENTO DE VALLE DEL CAUCA

*José Francisco Avila Cusba – INVEMAR
Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR*

15. VALLE DEL CAUCA

El departamento del Valle del Cauca, ubicado en la costa del Pacífico colombiano, sigue siendo una región de gran relevancia ambiental y social. Esta zona se caracteriza por recibir constantes precipitaciones a lo largo del año ([IDEAM, 2023a](#)). En su área marina y costera, predominan estuarios, manglares y playas, entre otros ecosistemas ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#)).

La REDCAM en el departamento del Valle del Cauca opera en estaciones de muestreo distribuidas en cinco zonas (Figura 109). La zona Bahía Málaga, de gran interés turístico, por sus playas de arena; además, esta zona alberga el Parque Nacional Natural Uramba Bahía Málaga, articulado con el Distrito de Manejo Integrado y el Parque Regional Natural la Sierpe. La zona Buenaventura Afuera abarca la entrada de la región de la Bocana, con destacados puntos como las playas de Pianguita y la Bocana al norte, e Isla Soldado, los esteros brazo largo y Machetagedó al sur, donde desembocan los ríos Potedó y Anchicayá. La zona Buenaventura Urbana, situada en el interior de la Bahía de Buenaventura, donde se desarrollan actividades comerciales y portuarias. La zona de Costa Afuera que alberga la zona turística P. Maguipi; y la zona Costa Sur Buenaventura donde se ubican estaciones sobre el río Raposo.

El comportamiento histórico de la salinidad del agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Valle del Cauca monitoreadas hasta noviembre de 2023, se interpretó considerando la clasificación de las aguas por los valores de salinidad propuestos por [Knox \(2001\)](#) (Figura 110). De las 43 estaciones, el 28% se clasificaron como aguas marinas, correspondientes a las ubicadas en Bahía Málaga y Costa Afuera; el 60% aguas estuarinas que corresponden a gran parte de Buenaventura Afuera, Costa Sur Buenaventura y en su totalidad a Buenaventura Urbana; y el 12% a agua dulce correspondiente a las estaciones R. San Juan, R. Anchicaya, R. Dagua, R. Potedo y R. Raposo.

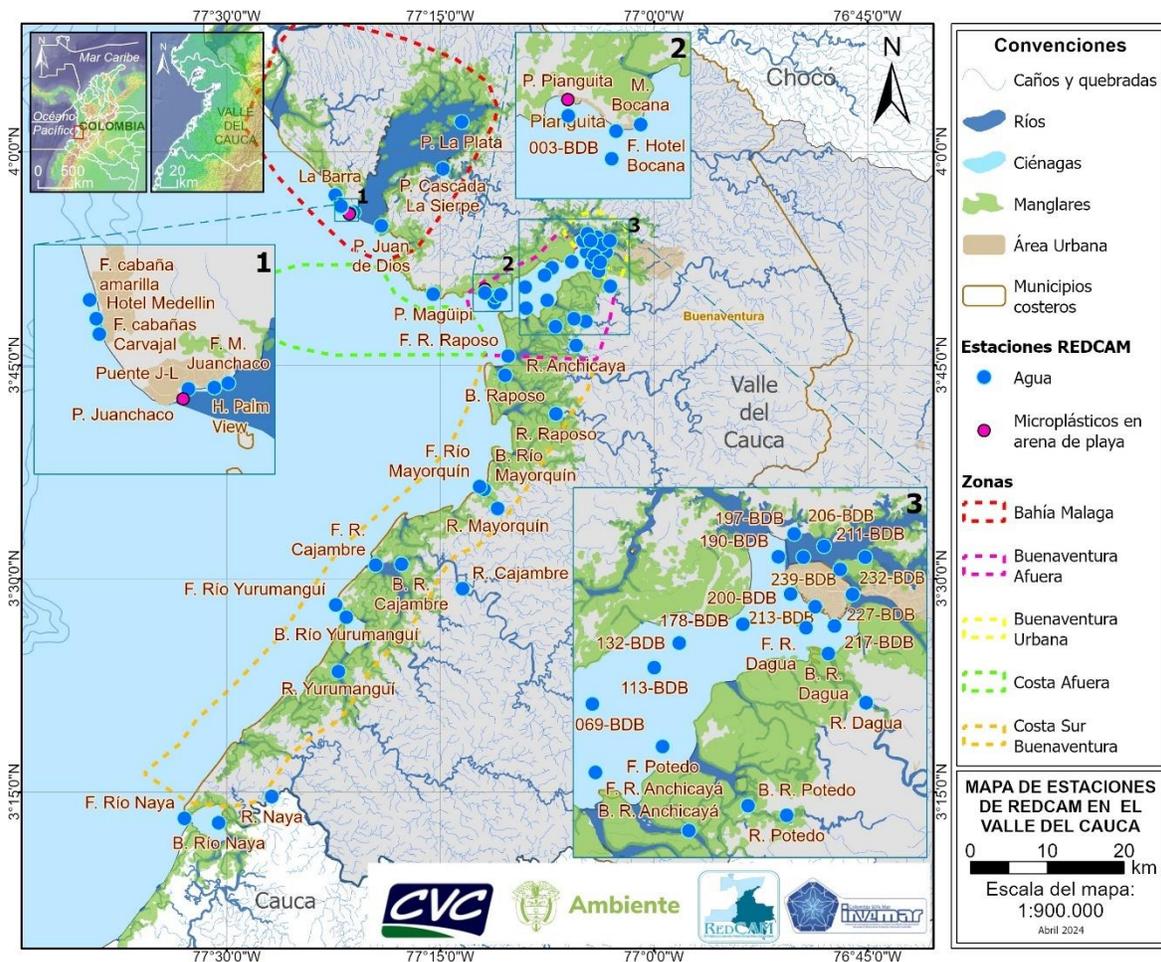


Figura 109. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento del Valle del Cauca. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

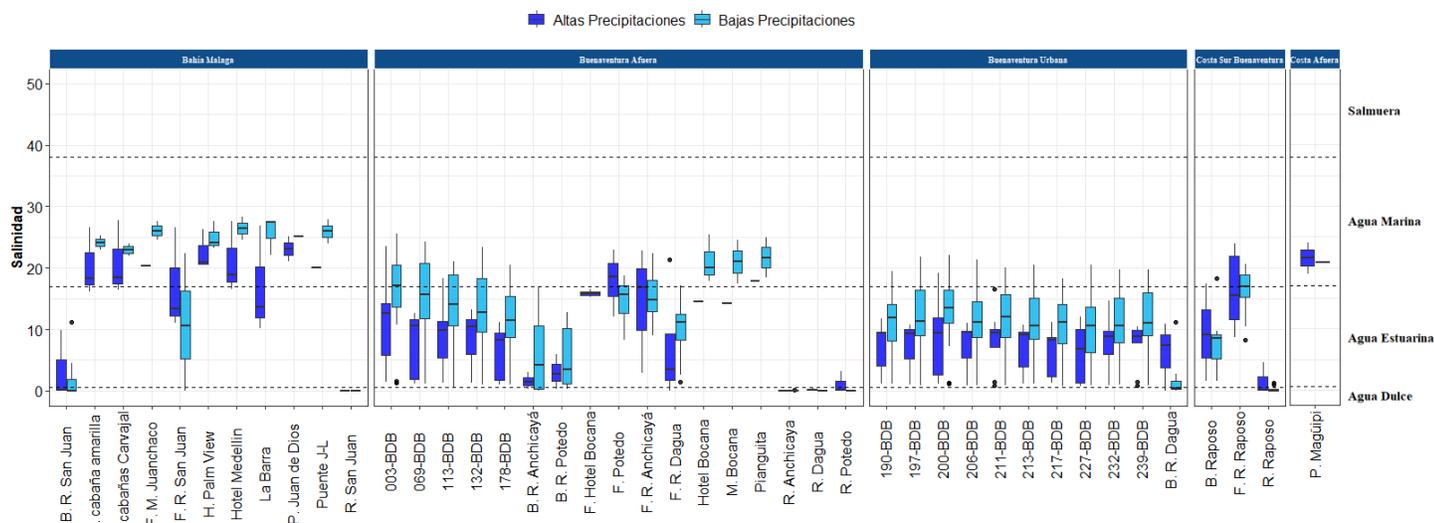


Figura 110. Variación histórica (2001-2023) de la salinidad del agua en las estaciones y zonas REDCAM en Valle del Cauca. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).

El ICAM se estimó en 12 estaciones monitoreadas en noviembre del 2023 (época de altas precipitaciones). Los valores ICAM oscilaron entre calidad inadecuada y óptima (Figura 111), con 8% de las estaciones en condición óptima, 50% adecuada, 8% aceptable y 33% inadecuada. Se resaltan los valores del ICAM en las estaciones 113-BDB y F. R. Dagua de la zona Buenaventura Afuera y todas las estaciones de Buenaventura Urbana, las cuales presentaron condiciones aceptables e inadecuadas (Figura 111). En las estaciones 113-BDB y F. R. Dagua, se evidenció un deterioro de la calidad con respecto al año 2021, cuando la calidad del agua era adecuada y aceptable. Asimismo, las estaciones de la zona Buenaventura Urbana mostraron un deterioro de la calidad con respecto al año 2021 ([INVEMAR, 2023a](#)), pasando de calidad aceptable a calidad inadecuada en el año 2023 en época de altas precipitaciones. Condiciones que se atribuyen a las altas concentraciones de clorofila a, nitratos y CTE, debido a los aportes del municipio de Buenaventura y residuos de la industria pesquera y del Puerto de Buenaventura ([Ortiz y Ramírez, 2018](#); [Montaño 2019](#)).

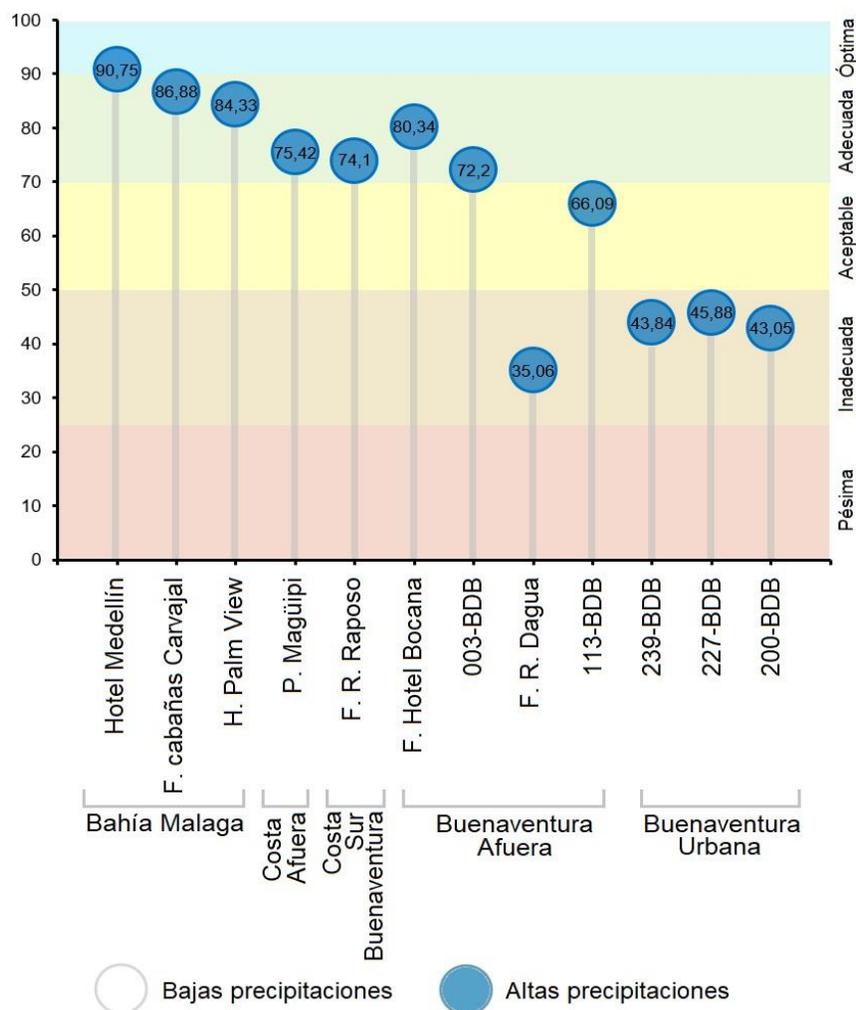


Figura 111. Calidad de agua de las aguas marinas y costeras de las estaciones REDCAM del Valle del Cauca evaluadas con el ICAM, en el muestreo de noviembre del año 2023.

En las muestras de agua recolectadas durante la temporada de altas precipitaciones en noviembre de 2023 se realizó el análisis del Carbono Orgánico Total (COT). Las concentraciones de COT fluctuaron entre 1,04 y 3,62 mg COT/L, como se muestra en la Figura 112. La estación La Barra registró la concentración más alta, alcanzando un valor de 3,62, seguida por P. Magüipi con 3,51, H. Palm View con 3,48, Hotel Medellín con 3,43 y F. Cabaña Amarilla con 3,4 mg COT/L, entre otras. En contraste, la estación F.R. Raposo presentó la concentración más baja de COT, con un valor de 1,04 mg COT/L. Cabe destacar que el COT puede originarse a partir de la descomposición de organismos vegetales y animales (Calva *et al.*, 2006), así como también de efluentes industriales que emplean compuestos orgánicos.

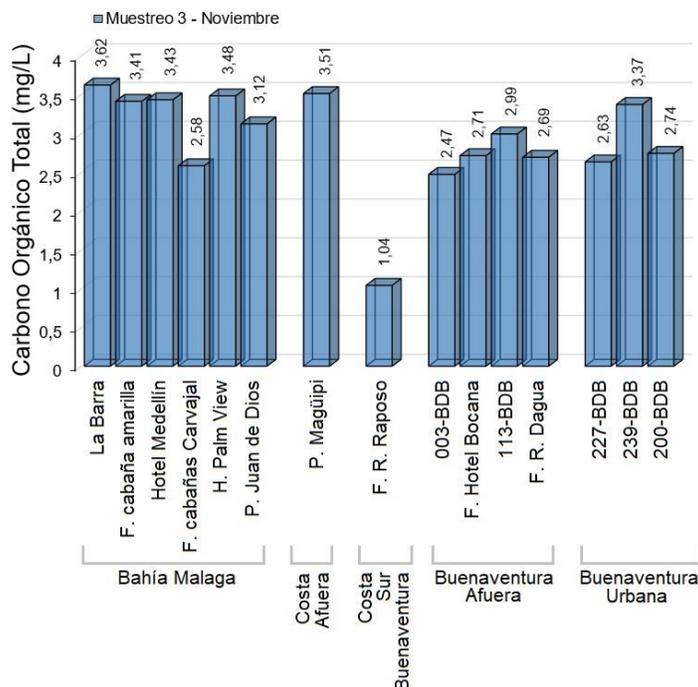


Figura 112. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en las estaciones REDCAM distribuidas en el departamento del Valle del Cauca. Las barras azules representan la época de altas precipitaciones del muestreo realizado en el mes de noviembre del 2023.

En la zona de Bahía Málaga, las concentraciones de CTE oscilaron entre <LCM (3) y 230 NMP/100 mL; en Buenaventura Afuera, entre 9 y 9.300 NMP/100 mL; en Buenaventura Urbana entre 210 y 24.000 NMP/100 mL, y en Costa Sur Buenaventura entre <LCM (3) y 2.400 NMP/100 mL (Figura 113). Para el muestreo realizado entre agosto y septiembre del 2023, las concentraciones en Bahía Málaga estuvieron entre <LCM (3) y 430 NMP/100 mL; en Buenaventura Afuera entre 21 y 4.300 NMP/100 mL; en Buenaventura Urbana entre 430 y 93.000 NMP/100 mL; y en Costa Sur Buenaventura, entre 4 y 9.000 NMP/100 mL.

Las concentraciones más altas de CTE y CTT, se registraron en el muestreo realizado en agosto y septiembre del 2023, particularmente en las estaciones situadas en la Bahía de Buenaventura (Urbana y Afuera), específicamente las estaciones R. Anchicaya (CTE = 24,000 NMP/100 mL; CTT = 110,000 NMP/100 mL), R. Potedo (CTE = 24,000 NMP/100 mL; CTT = 110,000 NMP/100 mL), B.R Potedo (CTE = 460,000 NMP/100 mL; CTT = 460,000 NMP/100 mL) en la zona de Buenaventura Urbana, y R. Dagua (CTE = 46,000 NMP/100 mL; CTT = 110,000 NMP/100 mL) y 200-BDB (CTE = 92,000 NMP/100 mL; CTT = 92,000 NMP/100 mL) (Figura 113), en las cuales hay descargas de ríos y esteros, además del emisario submarino. Algunos estudios de modelación han indicado la amplia dispersión que pueden experimentar los contaminantes presentes en estos vertimientos (Barbosa, 2018), la cual se extiende hacia zonas más amplias, influenciadas por diversos factores, incluyendo la acción de la marea y las descargas de los ríos y esteros.

En el muestreo realizado en noviembre de 2023, las concentraciones de CTE en Buenaventura Urbana se mantuvieron elevadas, alcanzando hasta 92,000 NMP/100 mL.

En Buenaventura Afuera, los niveles fueron menores, oscilando entre 230 y 2,400 NMP/100 mL. En Bahía Málaga, las concentraciones de CTE se mantuvieron entre 2 y 540 NMP/100 mL. En cuanto a los CTT, en Buenaventura Urbana también se registraron altas concentraciones, llegando hasta 92,000 NMP/100 mL. En Bahía Málaga, las concentraciones de CTT oscilaron entre 23 y 540 NMP/100 mL, mientras que en Buenaventura Afuera variaron entre 2,400 y 17,000 NMP/100 mL, y en la zona de Costa Afuera alcanzaron los 5,400 NMP/100 mL.

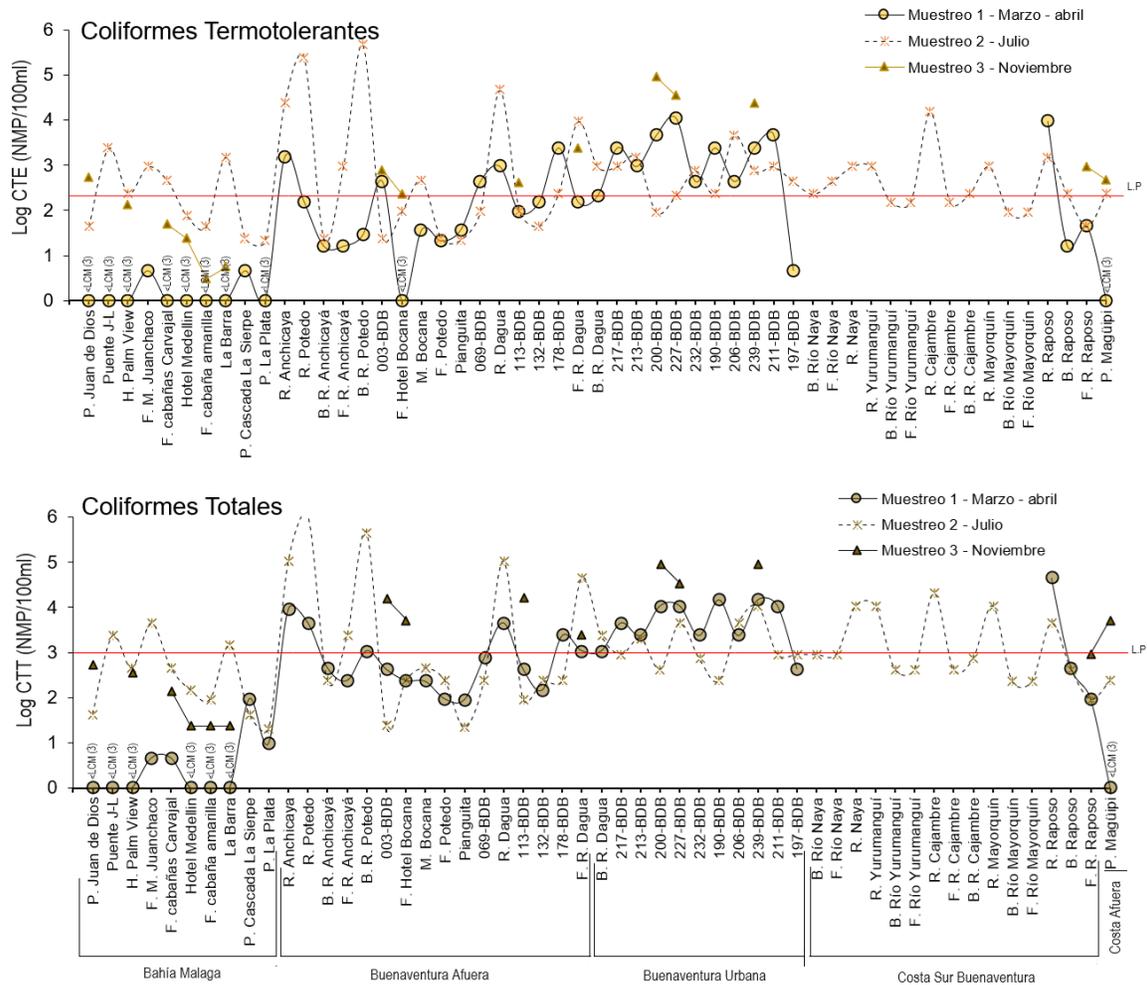


Figura 113. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Valle del Cauca, correspondientes a los muestreos realizados en marzo-abril (Muestreo 1), julio (Muestreo 2) y noviembre (Muestreo 3) de 2023. La línea roja indica el valor de referencia del límite permisible, establecido en 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE; 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P.: Límite Permisible.

En la mayoría de las estaciones monitoreadas en noviembre de 2023, las concentraciones de EFE fueron bajas, con valores por debajo de la referencia establecida por la Unión Europea y la OMS. En la zona de Bahía Málaga, las concentraciones oscilaron entre menor al LCM (1) y 10 UFC/100 mL. En el área de

Buenaventura Afuera, se registró un valor de 2 UFC/100 mL en la F. Hotel Bocana. En la estación Playa Magüipi de Costa Afuera, se registró una concentración de 12 UFC/100 mL.

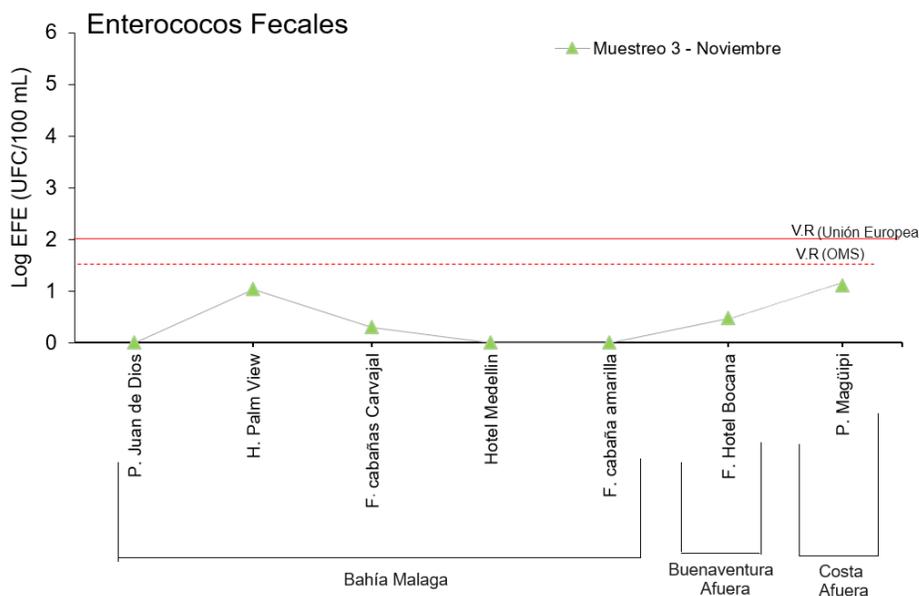


Figura 114. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Valle del Cauca, correspondientes a los muestreos realizados en noviembre (Muestreo 3) de 2023. La línea roja indica el valor de referencia del límite permisible, establecido en 40 (Organización Mundial de la Salud) y 100 (Unión Europea) UFC/100 mL, equivalentes a 1,6 y 2 log (UFC/100 mL) respectivamente. V.R: Valor de referencia.

El análisis histórico de CTE y CTT, muestra que a partir del año 2016, los niveles de cumplimiento de calidad sanitaria en la mayoría de estaciones monitoreadas mejoraron, a excepción de las estaciones Piangüita y P. Magüipi, las cuales han presentado históricamente niveles de cumplimiento medio y bajo del criterio de calidad establecido por [MinAmbiente \(2015\)](#) para el uso recreativo de las aguas (CTE <200 NMP/100 mL y CTT <1.000 NMP/100 mL; Figura 115). En las estaciones Hotel Bocana, P. Juan de Dios, H. Palm View, Puente J-L, F.M Juanchaco, Hotel Medellín, F. Cabañas Carvajal, F. Cabaña amarilla y La Barra, hasta el 2023, se han presentado niveles de cumplimiento medio.

En relación con los EFE, no existe un monitoreo constante de esta variable en diferentes estaciones a lo largo del tiempo, lo que impide evidenciar cambios continuos a nivel histórico de los niveles de cumplimiento. Sin embargo, en algunos periodos evaluados de manera intermitente, como 2008 y 2009, y entre 2019 y 2023, los resultados han mostrado niveles de cumplimiento altos en las estaciones monitoreadas (Figura 115). En particular, las estaciones P. Guapi, Hotel Bocana, P. Juan de Dios, H Palm View, Hotel Medellín, F. Cabañas Carvajal y F. Cabaña Amarilla las cuales han registrado un seguimiento más detallado (Figura 115).

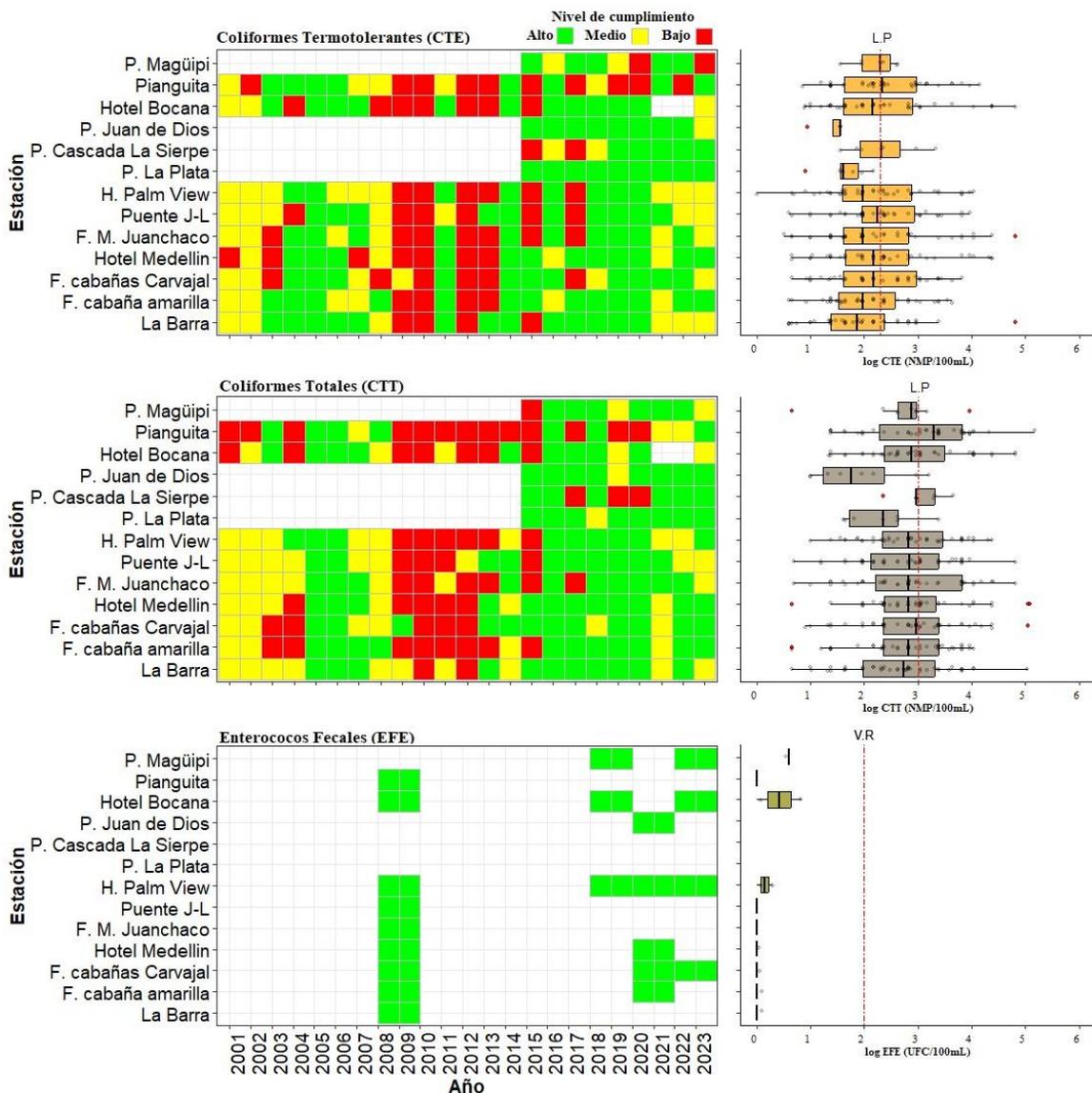


Figura 115. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Valle del Cauca. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 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. V.R.: Valor de referencia.

BASURA MARINA Y MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS TURÍSTICAS

La determinación de la contaminación por basuras marinas y microplásticos se realizó en dos playas turísticas priorizadas del departamento de Valle del Cauca, Playa Juanchaco y Playa Pianguita. Las abundancias de basura marina oscilaron entre 0,07 y 0,22 ítems/m², las mayores abundancias se presentaron en Playa Pianguita (Figura 116), si bien estas concentraciones son inferiores a las reportadas en otras playas en el Pacífico

colombiano como Buenaventura, Chocó y Tumaco ([Garcés-Ordóñez et al., 2020b](#)), donde la basura marina está asociada al turismo, manejo deficiente de residuos sólidos y actividades de pesca. Las bajas concentraciones encontradas están relacionadas a las actividades de recolección y limpieza por parte de recicladores y comerciantes que prestan sus servicios turísticos en las playas, hecho que fue observado al momento de realizar el muestreo (Figura 117). Cabe resaltar que en el Pacífico colombiano la dinámica de las mareas presenta un rango mareal que excede los 4 m ([Alvarez et al., 2018](#)), lo que permite que la basura marina se acumule en la parte media y alta de las playas (zona de reposo y transición).

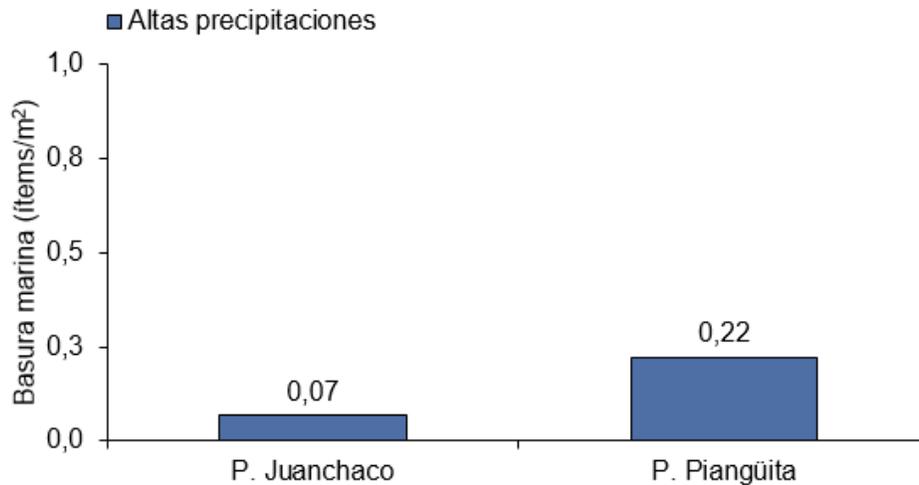


Figura 116. Abundancia de basura marina en las playas turísticas del departamento de Valle del Cauca, registradas en el muestreo realizado en época de altas precipitaciones (noviembre) del 2023.



Figura 117. Imágenes tomadas durante la salida de campo en playa Pianguita el 21 de noviembre de 2023, A y B) evidencia de limpieza en playa Pianguita; C y D) basura marina acumulada por los comerciantes para su posterior eliminación.

Entre los materiales de basura marina encontrados, se destacaron los plásticos por su presencia en ambas playas, el cual estuvo representado por botellas plásticas, colillas de cigarrillos, pitillos y envolturas de mecatos; mientras que el vidrio presentó un 20% del total de la basura encontrada en Playa Pianguita, el cual estuvo representado por botellas y fragmentos de vidrio (Figura 118).

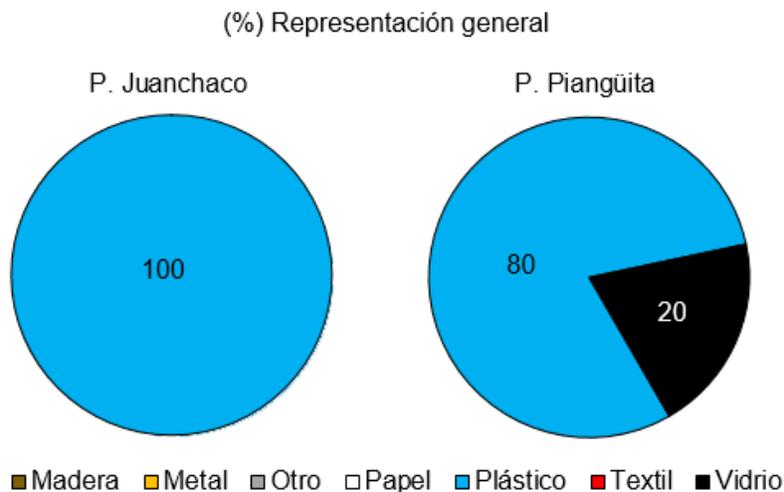


Figura 118. Porcentajes de representación de los materiales o tipos de basura según (OSPAR, 2010) en las dos playas priorizadas del departamento de Valle del Cauca.

Las abundancias de microplásticos (< 5 mm) oscilaron entre 7,20 y 11,20 ítems/m², la mayor concentración se registró en Playa Pianguita (Figura 119). Cabe resaltar que estas abundancias fueron menores a las registradas por [Garcés-Ordóñez et al. \(2020b\)](#). Estos resultados se asocian a las actividades turísticas y recreativas, así como con la incidencia de los efectos de las mareas que favorece el transporte de desechos plásticos desde el municipio de Buenaventura hasta las zonas costeras rurales. La gestión inadecuada de residuos, la falta de un sistema de disposición adecuado y la falta de sensibilización de las comunidades locales, algunas de las cuales habitan en casas construidas sobre pilotes para evitar la inundación, contribuyendo a la contaminación por plásticos. Cabe resaltar que la compañía prestadora del servicio de aseo [Buenaventura Medio Ambiente S.A. E.S.P. \(2023\)](#) no presenta cobertura en estas playas debido a la dificultad del acceso cuyo transporte es vía fluvial.

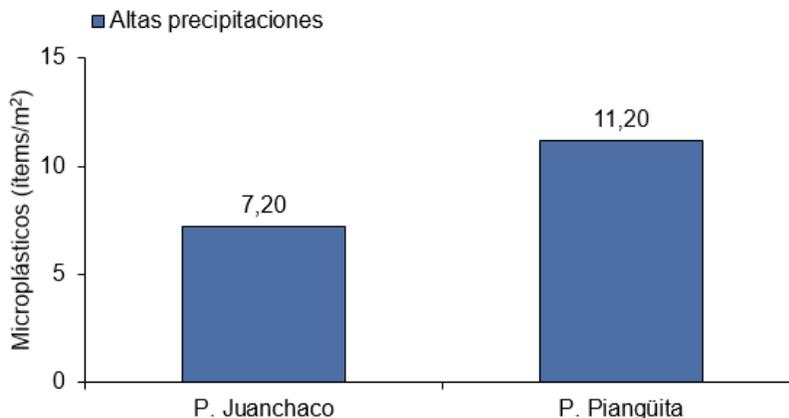


Figura 119. Concentraciones de microplásticos en las muestras de arena de las dos playas priorizadas del departamento de Valle del Cauca recolectadas en época de altas precipitaciones de 2023.

Las formas de los microplásticos más abundantes fueron los fragmentos, filamentos y películas, y en menores concentraciones las espumas y pellets (Figura 120). Con excepción de los pellets, estas formas de microplásticos son de origen secundario, provenientes de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño. En Playa Juanchaco se registraron películas con 33,33%, mientras que el restante fue equitativo en un 22,22% de filamento, 22,22% fragmento y 22,22% espuma; por otro lado, en Playa Pianguita se encontraron fragmentos con 50% y filamentos 28,57%. Los microplásticos primarios (pellets), se asocian al arrastre de desechos sólidos desde los afluentes hacia la bahía de Buenaventura, que posteriormente llegan hacia las playas rurales.

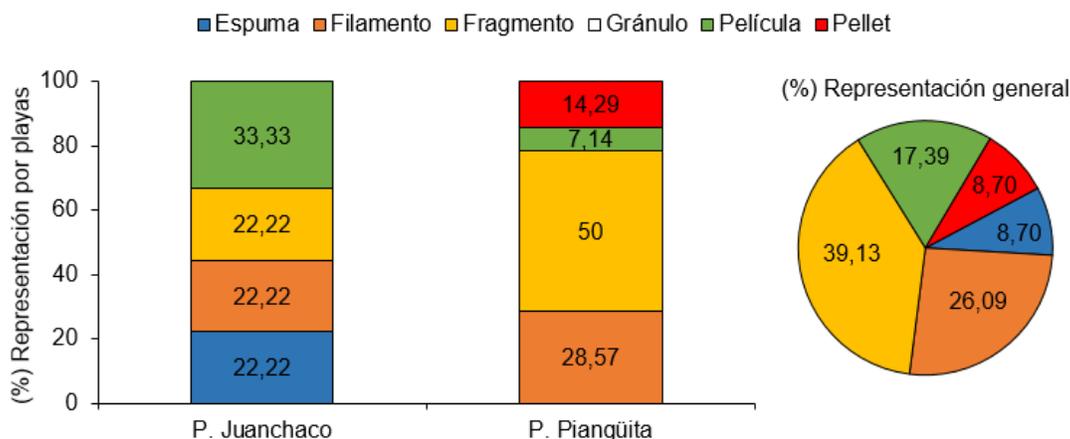


Figura 120. Porcentajes de representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playa de Valle del Cauca, colectados en noviembre 2023.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El análisis del Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras (ICAM) revela una marcada variabilidad en la calidad del agua en la región, especialmente durante el período de altas precipitaciones. Se ha observado que, si bien un reducido porcentaje de estaciones exhiben condiciones óptimas, la mayoría muestra niveles de calidad que varían entre adecuados, aceptables e inadecuados. Es preocupante el deterioro evidenciado en las estaciones 113-BDB y F. R. Dagua, así como en aquellas ubicadas en la zona urbana de Buenaventura. Este deterioro se atribuye principalmente a la presencia de altos niveles de clorofila a, nitratos y Coliformes Termotolerantes, los cuales tienen su origen en actividades antropogénicas como la descarga de residuos municipales e industriales. Estos resultados subrayan la urgencia de implementar medidas de gestión ambiental destinadas a abordar los impactos negativos en la calidad del agua en la región.
- Los análisis de calidad sanitaria de las playas turísticas Piangüita, P. Magüipi, Hotel Bocana, P. Juan de Dios, H. Palm View, Puente J-L, F.M Juanchaco, Hotel Medellín, F. Cabañas Carvajal, F. Cabaña Amarilla y La Barra evidencian niveles de calidad medios y bajos para su uso recreativo, debido a las concentraciones de Coliformes Termotolerantes y Totales que superan los criterios establecidos por la normatividad colombiana. Además, los resultados del monitoreo microbiológico, especialmente en la mayoría de estaciones ubicadas en la Bahía de Buenaventura, revelan la persistencia de concentraciones notoriamente altas de estas variables, sugiriendo que existe una contaminación antropogénica en estas áreas. Es crucial reducir las fuentes de contaminación para lograr una mejora sostenible en la calidad del agua.
- En la arena de las playas turística muestreadas en el departamento de Valle del Cauca en el año 2023, se evidencia la presencia de microplásticos de origen primario y secundario, principalmente en Playa Piangüita. Estas condiciones muestran el impacto de las actividades antrópicas que se desarrollan en la zona marino-costera y sus alrededores. Es necesario continuar con las investigaciones para entender mejor el comportamiento de este contaminante y abordar el problema de los residuos marinos, asegurando la sostenibilidad de los ecosistemas mediante el desarrollo de estrategias integrales.



DEPARTAMENTO DE CAUCA

*Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera – INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR*

16. CAUCA

El departamento del Cauca, situado en la región del Pacífico colombiano, presenta una zona costera que engloba parte de los municipios de López de Micay, Timbiquí y Guapi. Esta zona se caracteriza por recibir precipitaciones constantes a lo largo de todo el año. En la zona marino-costera, destacan estuarios, manglares, litorales rocosos y las islas Gorgona y Gorgonilla, hogar de playas y parches de corales ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#)).

En la actualidad, la REDCAM en el departamento del Cauca cuenta con 18 estaciones de muestreo de calidad de aguas superficiales activas, distribuidas en tres zonas (Figura 121). La zona López-Timbiquí comprende que la franja costera de los municipios López de Micay y Timbiquí, donde se concentran numerosas comunidades afrocolombianas e indígenas que realizan actividades como la pesca, la extracción de crustáceos y moluscos y la minería de oro y platino, principalmente en la cuenca alta del río Timbiquí. La zona Guapi abarca el municipio de Guapi, que cuenta con la mayor población de la región. Por último, la zona Gorgona que es un área de conservación de flora y fauna, donde solo se desarrollan actividades turísticas.

El comportamiento histórico de la salinidad del agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Cauca monitoreadas hasta junio 2023, se interpretó considerando la clasificación de las aguas por los valores de salinidad propuestos por [Knox \(2001\)](#) (Figura 122). De las 18 estaciones, el 55,5% se clasificaron como aguas marinas, correspondientes a las ubicadas en Isla Gorgona, Guapi y la zona de López-Timbiquí, puntualmente frente a los ríos Saija y Micay; el 11,1 % aguas estuarinas que corresponden a Bocana río Saija y Bocana Timbiquí, donde las condiciones de marea alta ingresan agua marina; y el 33,3 % a agua dulce correspondiente a las estaciones Río Bubuey, Río Micay, Río Saija, Río Timbiquí, Río Guajuí y Río Guapi.

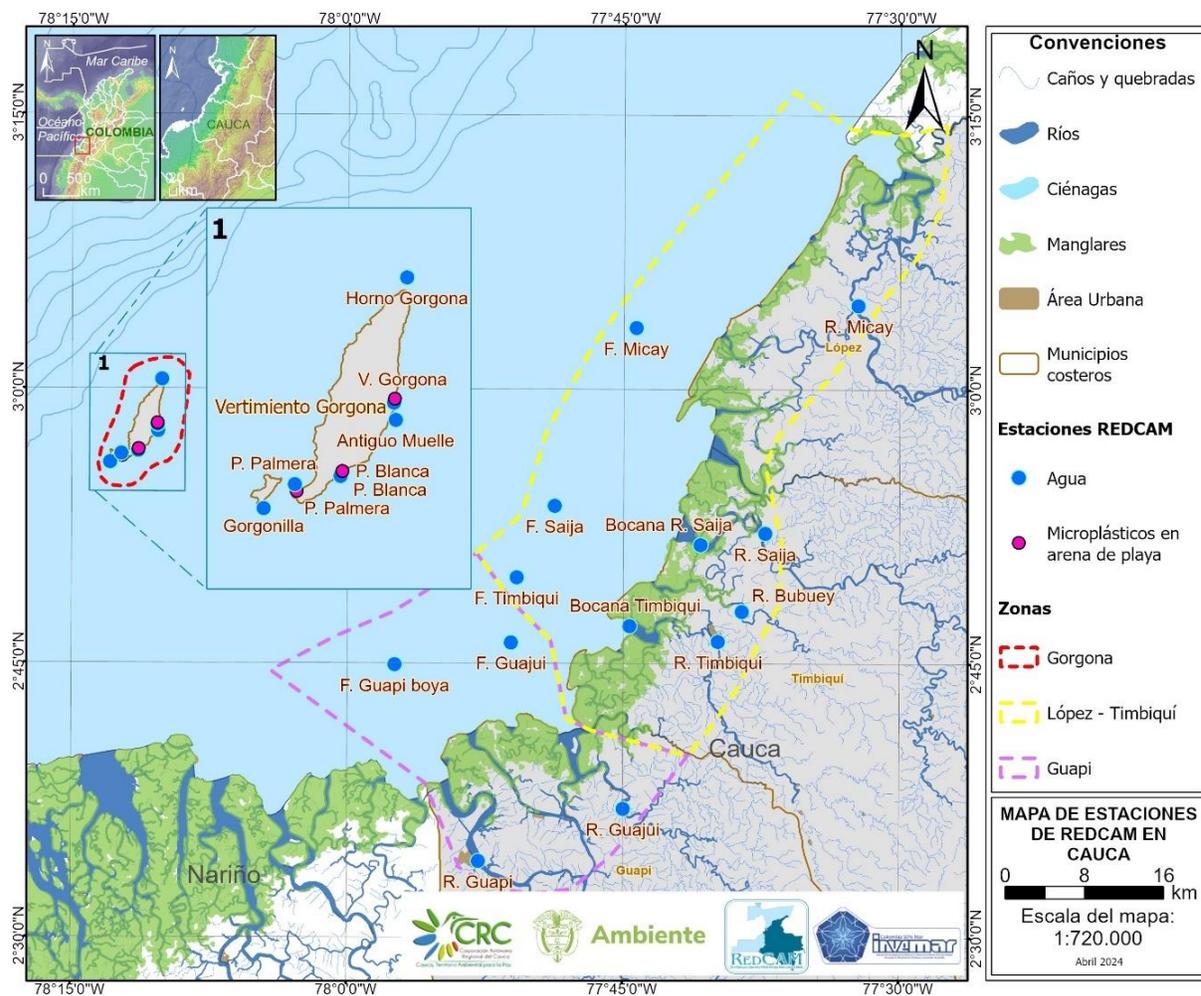


Figura 121. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento del Cauca. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

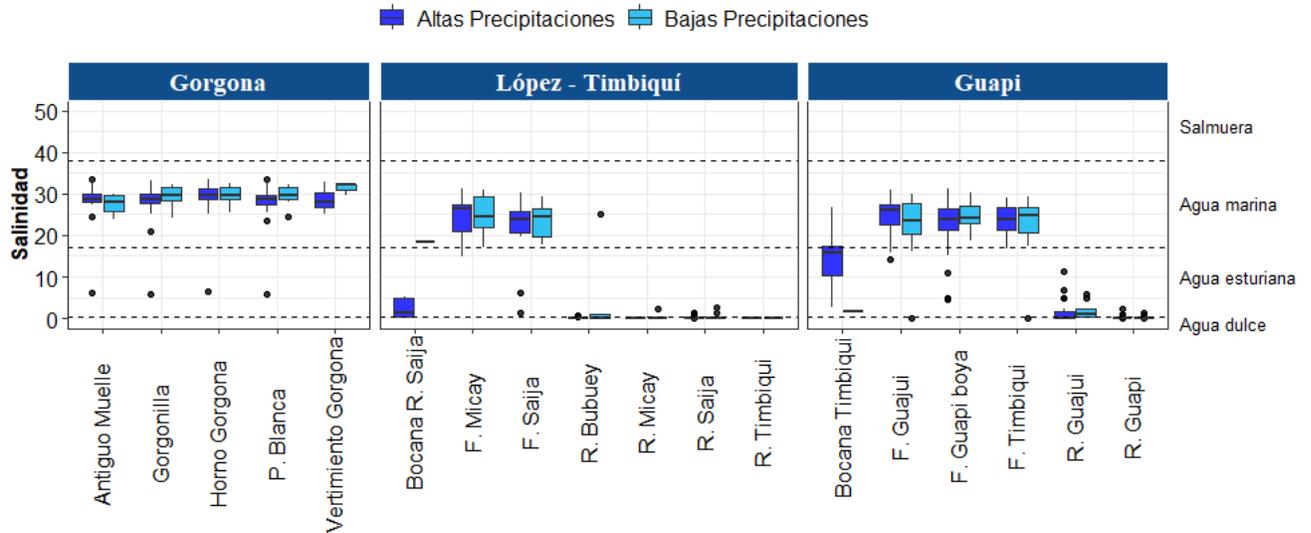


Figura 122. Variación histórica (2001-2023) de la salinidad del agua en las estaciones y zonas REDCAM en Cauca. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).

En cumplimiento del plan de muestreo establecido para el cálculo del ICAM, en junio del 2023 (época de altas precipitaciones) se realizó la recolección de muestras en cada una de las estaciones planificadas en el área marina de Cauca, no obstante, variables como PO_4^{3-} , NO_3^- y HPDD estuvieron por debajo del Límite de cuantificación del método usado por LABCAM (LCM), por tanto, de acuerdo a las limitaciones del ICAM, no fue posible estimar los subíndices que conforman su ecuación integradora. Por lo tanto, el ICAM solo se calculó en 6 estaciones del departamento de Cauca.

Los valores ICAM oscilaron entre calidad inadecuada y óptima (Figura 123), con el 16,6% de las estaciones en condición óptima, 50% adecuada, 16,6% aceptable y el 16,6% inadecuada. Se destacan los valores del ICAM en las estaciones F. Guajú en la zona de Guapi, la cual presentó condiciones aceptables; mientras que en la estación F. Micay en la zona de López – Timbiquí, se registraron condiciones inadecuadas (Figura 123). El análisis mostró que la estación Bocaca Río Saija presentó calidad adecuada, evidenciando una mejoría de la calidad con respecto al año 2022, donde se encontró en calidad aceptable en la época de altas precipitaciones ([Saldarriaga-Vélez et al., 2022](#)). Por el contrario, las estaciones F. Guajú y F. Micay mostraron un deterioro de la calidad con respecto al año 2022, donde se encontraron en calidad adecuada y aceptable.

Las estaciones de calidad inadecuada y aceptable se deben a las altas concentraciones de nutrientes y Clorofila a, que pueden estar asociados a la influencia de las aguas de escorrentías que transportan materia orgánica y sustancias contaminantes desde sus recorridos fluviales, como resultado del aumento de las precipitaciones y la dinámica de las mareas ([Shirodkar et al., 2011](#); [INVEMAR, 2019a](#)). Cabe resaltar que las condiciones mareográficas durante el muestreo para la estación Bocana Río Saija, que pasó de calidad aceptable en el año 2022 a adecuada en el año 2023, se encontraba en flujo ([IDEAM, 2023a](#)), con la entrada de agua marina hacia las bocanas; por lo cual se habría generado un recambio de agua considerable que podría influenciar la calidad de las aguas marino costeras por procesos mareales.

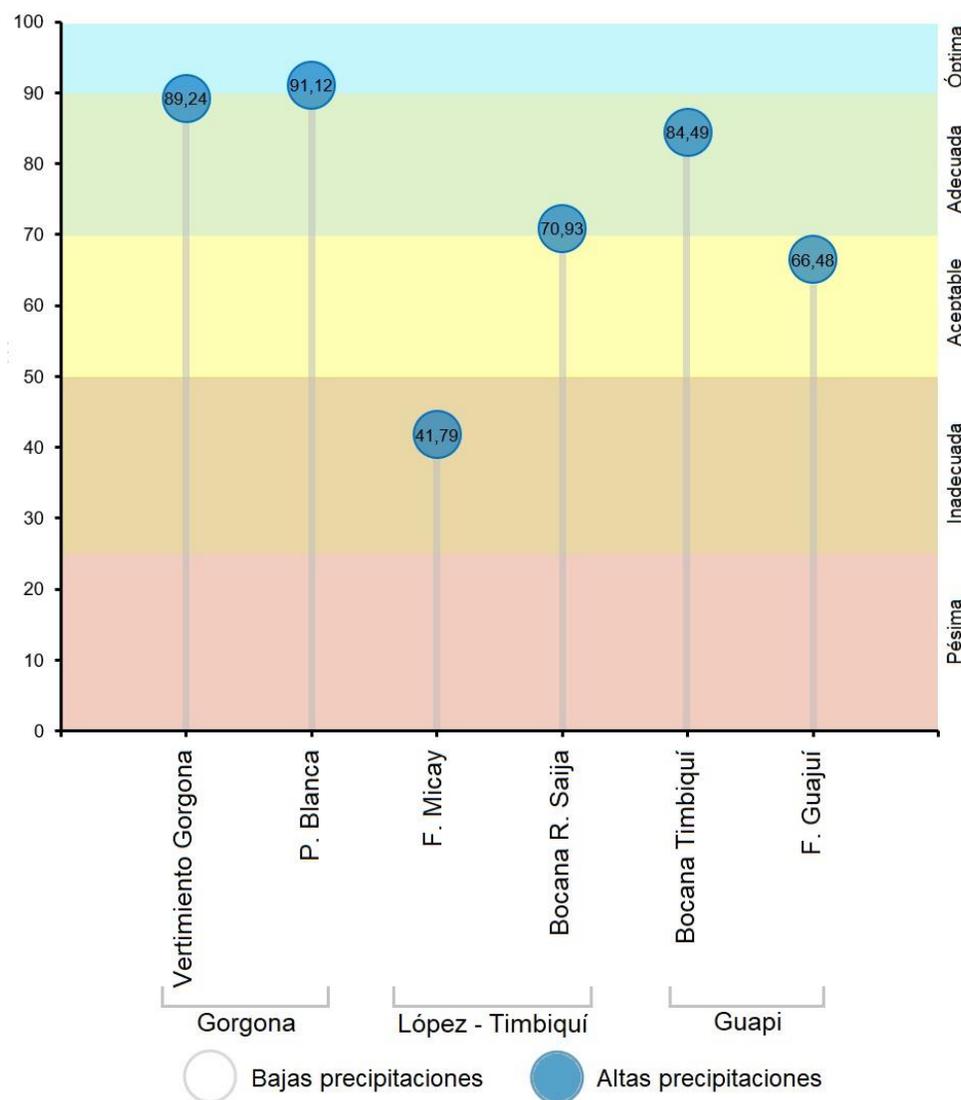


Figura 123. Calidad de agua de las aguas marinas y costeras de las estaciones REDCAM de Cauca evaluadas con el ICAM, en el muestreo de junio del año 2023.

Por otra parte, se analizó el carbono orgánico total (COT) en las estaciones ubicadas en la zona de Gorgona, López Timbiquí y Guapi. Las concentraciones estuvieron entre 0,74 y 2,66 mg COT/L (Figura 124). Las mayores concentraciones en época de altas precipitaciones se registraron en Antiguo muelle Gorgona (2,66 mg COT/L), F. Guapi boya (2,66 mg COT/L), Horno Gorgona (2,35 mg COT/L) y Vertimiento Gorgona (2,26 mg COT/L); estaciones que presentan características marinas.

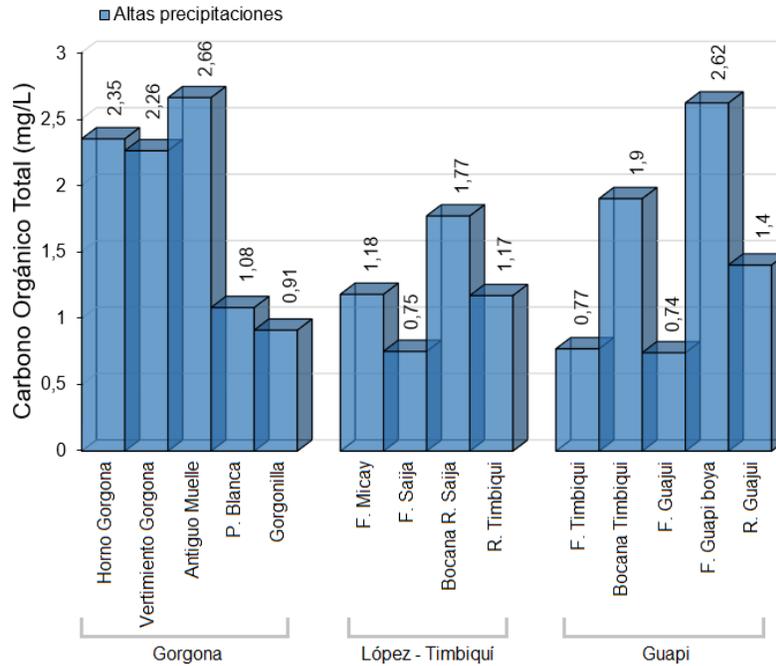


Figura 124. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en 2023 en época de altas precipitaciones en el departamento de Cauca. Barras azules representan la época de altas precipitaciones.

La calidad del agua para uso recreativo se determinó a partir de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) contrastados con los valores de referencia de límites permisibles para uso recreativo de contacto primario de <200 NMP/100mL de CTE, <1.000 NMP/100mL ([MinAmbiente, 2015](#)) y <100 UFC/100mL ([Unión-Europea, 2006](#)).

En el muestreo de junio del 2023, las estaciones (Río Guapi, Río Micay, Río Saija, Río Bubuey, Río Timbiquí, Frente a Río Timbiquí, Bocana Río Timbiquí y Río Guajuí) presentaron concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) por encima del límite permisible para contacto primario (CTE = 200 NMP/100 mL o 2,3 log NMP/100 mL, y CTT = 1.000 NMP/100 mL o 3 log NMP/100 mL ([MinAmbiente, 2015](#)), con excepción de las estaciones Frente a Río Timbiquí, Bocana Río Timbiquí, donde las CTT, estuvieron por debajo del límite permisible para contacto primario y Río Guajuí, donde las CTE, estuvieron por debajo del límite permisible (Figura 125). Estos resultados han sido recurrentes en las mismas estaciones en años anteriores (2021-2022). En contraste, en las estaciones Frente a Río Guapi, Horno Gorgona S, Vertimiento Gorgona, Playa Blanca, Gorgonilla, Frente a Río Micay, Bocana Río Saija, Frente a Río Saija, Frente a Río Timbiquí,

Bocana Río Timbiquí, Frente a Río Guajú y Río Guajú, las concentraciones de CTE y CTT estuvieron por debajo del límite permisible (Figura 125).

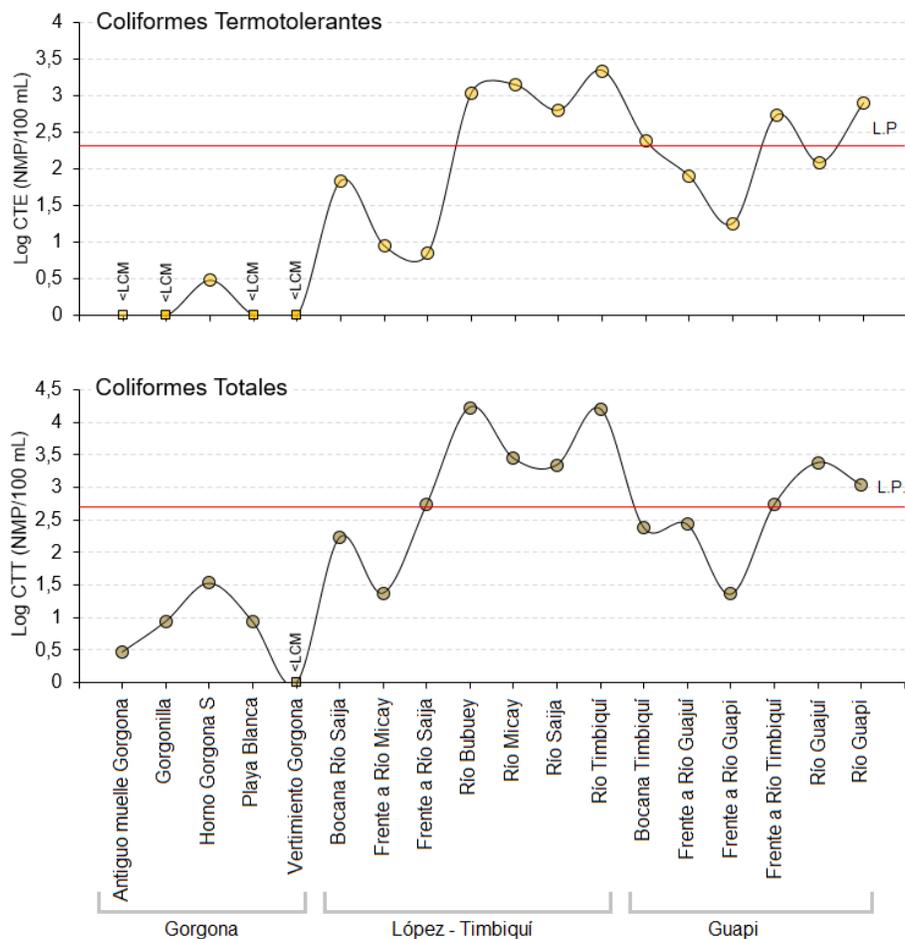


Figura 125. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Cauca, en junio del 2023. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permisible.

En todas las estaciones muestreadas, las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método usado en el LABCAM de INVEMAR (<1,0; LCM).

El análisis entre los años 2006 al 2023 de las condiciones históricas de calidad microbiológica en playas de uso turístico se evaluó en cuatro (4) estaciones del Parque Nacional Isla Gorgona. En general entre los años 2006 y 2016 se registró un nivel de cumplimiento alto en todas las estaciones, con excepción de la estación Horno Gorgona, donde el 2014 se registró un nivel de cumplimiento bajo para CTT para uso recreativo por contacto primario. Entre 2017 y 2018 las concentraciones de CTE y CTT en todas las estaciones presentaron niveles de cumplimiento medio y bajo, superando los

critérios de calidad para uso recreativo por contacto primario (200 NMP de CTE/100 mL; [MinAmbiente, 2015](#), Figura 126). Sin embargo, entre los años 2022 y 2023 las concentraciones de CTE y CTT no han superado los criterios de calidad nacionales y las concentraciones de EFE han estado por debajo de los valores del límite permisible (100 UFC/100 mL o 2 log UFC/100 mL, [Unión-Europea, 2006](#)). Cabe resaltar que, durante el muestreo realizado en el 2023, se encontraba en vigencia la Resolución 00001750 de 2023 ([ICA, 2023](#)) por medio de la cual se decretó una cuarentena sanitaria en el Parque Nacional Natural Isla Gorgona por presencia de Influenza Aviar de Alta Patogenicidad, por lo que durante este periodo no se realizaron actividades recreativas ni turísticas, lo cual pudo favorecer las condiciones de calidad microbiológica en las playas ubicadas en la isla.

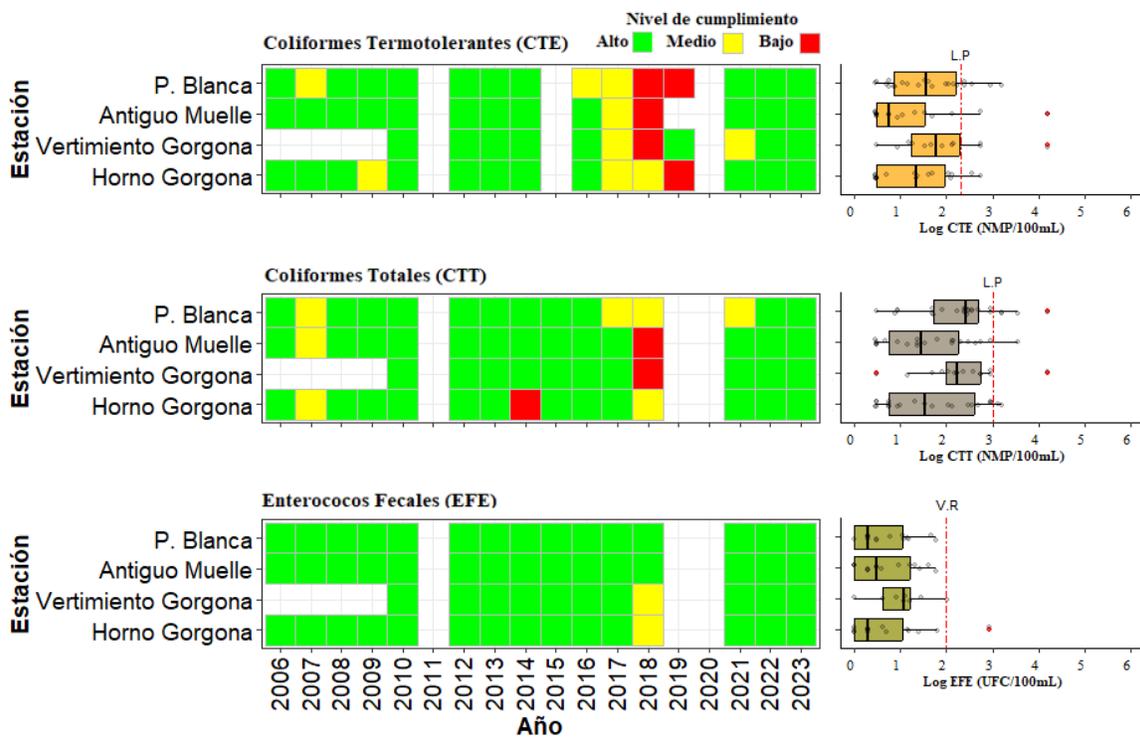


Figura 126. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Cauca. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 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 Permissible. V.R: Valor de referencia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La calidad del agua marina y costera del departamento de Cauca en la época de altas precipitaciones del año 2023, determinada mediante el ICAM_{PFF}, mostró un deterioro en las estaciones F. Guajuí y F. Micay que pasaron de condiciones de calidad adecuada y aceptable en el año 2022, a condiciones de calidad aceptable e inadecuada. La mala calidad del agua está asociada a los altos niveles de ortofosfatos y Clorofila a, debido a las altas cargas de materia orgánica y sustancias contaminantes transportadas por las escorrentías. Por lo que es necesario establecer control para disminuir las descargas de aguas residuales y mejorar la cobertura de sistema de alcantarillado.
- La calidad sanitaria de las playas de interés turístico del departamento de Cauca Playa Blanca, Antiguo muelle Gorgona, Vertimiento Gorgona y Horno Gorgona es adecuada para actividades turísticas o recreativas para contacto primario, debido a que las cargas de CTE, CTT y EFE cumplen con los criterios de calidad nacional y referentes internacionales. Demostrando la gestión adecuada por parte de Parques Nacionales Naturales de Colombia, quienes realizan talleres de sensibilización y promoción de buenas prácticas higiénico sanitarias a los trabajadores y visitantes de la Isla Gorgona.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

- A nivel nacional, el análisis del ICAM para el año 2023 revela una variabilidad en la calidad de las aguas marinas y estuarinas, abarcando todos los rangos de las categorías que van desde pésima hasta óptima. Se destaca la presencia de condiciones inadecuadas y pésimas en todos los departamentos tanto de la región Caribe, como de la región Pacífico. Estas condiciones comprometen los procesos naturales esenciales para la preservación de la flora y fauna asociados a los ecosistemas acuáticos y limita el uso adecuado de estos entornos. Se recomienda implementar mecanismos integrales de manejo y saneamiento, además de desarrollar políticas efectivas que aborden y reduzcan las fuentes de contaminación. Es crucial que estas acciones se complementen con un seguimiento, control y vigilancia adecuados para garantizar una mejora sostenible y significativa en la calidad ambiental de estos cuerpos hídricos a nivel nacional.
- En Colombia, las zonas costeras enfrentan desafíos para garantizar las condiciones de calidad del agua marino-costera, debido a diversas actividades antropogénicas. La contaminación, derivada principalmente de la actividad turística, minería, actividades portuarias, agricultura, ganadería y la gestión inadecuada de residuos sólidos y aguas residuales, ha generado impactos negativos en los ecosistemas marinos. Se recomienda fortalecer los estudios para identificar las fuentes de contaminación directas y difusas que aportan altas concentraciones de sólidos suspendidos Totales, Coliformes Termotolerantes, nitratos ($N-NO_3^-$), fosfatos ($P-PO_4^{3-}$) y clorofila a en los diferentes cuerpos de aguas de la zona marino-costera de Colombia.
- Los impactos negativos derivados de los vertimientos de aguas residuales, que contribuyen al aumento de las concentraciones de nutrientes y Coliformes Termotolerantes que se observan en las aguas marino costeras de Colombia, requieren acciones por parte de las entidades, locales, regionales y nacionales, así como la colaboración activa de la comunidad. Se recomienda implementar medidas para reducir las descargas directas de aguas residuales a los cuerpos de aguas, al tiempo que se promueva la continuidad de programas de educación ambiental dirigidos a las comunidades. Estas acciones son esenciales para prevenir la contaminación y mitigar los impactos ambientales en las zonas marino-costeras del país.
- La presencia de microplásticos en la arena de las playas del Caribe y Pacífico colombiano muestreadas en el 2023, muestran que hay contaminación por microplásticos tanto de origen primario como secundario, principalmente en los departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar, Atlántico, Magdalena, Chocó y Valle del Cauca. La presencia de estos contaminantes está relacionada con actividades antrópicas, así como la dinámica marino-costera, las corrientes oceánicas y el transporte de sedimentos por parte del río Magdalena y demás tributarios de la región Caribe. Es necesario continuar con las investigaciones y ampliar la red de monitoreo de microplásticos, 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.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Coley, I., Duran-Izquierdo, M., Rodríguez-Cavallo, E., Mercado-Camargo, J., Mendez-Cuadro, D., y Olivero-Verbel, J. 2019. Quantification of microplastics along the Caribbean Coastline of Colombia: pollution profile and biological effects on *Caenorhabditis elegans*. *Marine pollution bulletin*, 146, 574-583. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.084>
- Acuña-González, J., J. Vargas-Zamora, E. Gómez-Ramírez y J. García-Céspedes. 2004. Hidrocarburos de petróleo disueltos y dispersos, en cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 52(2): 43-50.
- Afanador Franco, F., M.P. Molina Jiménez, L.T. Pusquin Ospina, N. Guevara Cañas, M.J. González Bustillo, K.I. Martínez Uparela, C. Banda Lepesquer, G.A. Escobar Olaya, I. Castro Mercado, 2021 Coastal Marine Planning: Vision of the Maritime Authority. Case of the Department of Bolívar - Colombia. *Revista Costas*, vol. esp., 2: 137-164. doi: 10.26359/costas. e0721
- Alonso, D., H. Barbosa, M. Duque, I. Gil, M. Morales, S. Navarrete, M. Nieto, A. Ramírez, G. Sanclemente y J. Vásquez. 2015. Conceptualización del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas en Colombia. Documento de Trabajo (Versión 1.0). Proyecto COL75241 Diseño e implementación de un Subsistema Nacional de Áreas Marinas Protegidas (SAMP) en Colombia. InveMar, MADS, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del InveMar No 80, Santa Marta. 80 p.
- Alvarez, M., Pulido, D., Solano, L., & Oviedo, F. 2018. Construcción de la superficie hidrográfica de referencia vertical para las bahías de Buenaventura y Málaga, Pacífico colombiano. *Bol. Cient. CIOH* (36):53-69. ISSN 0120- 0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI: 10.26640/22159045.438.
- 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.
- Argumedo, C. D. & Vilorio, H. D. 2018. Niveles de metales pesados en los sedimentos superficiales de las zonas de playas turísticas de La Guajira, Norte de Colombia. *Revista De Investigación*, 11(2), 49-66.
- Arriaga, D. E. S., & Barriga, J. E. C. 2010. Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del río Condoto (Chocó, Colombia). *Gestión y Ambiente*, 13(3), 115-130.
- Atesa, 2022. Programa para la prestación de servicio público de aseo. Santa Marta. Última actualización: agosto de 2022. Versión 1.
- Barbosa Hurtado, J. P. 2018. Estudio de los procesos de transporte (advección y dispersión) de los sólidos suspendidos Totales en la bahía interior de Buenaventura, Colombia.
- Bernal F., Montoya, L., Arizábal y C., Toro, M., 2005. La complejidad de la dimensión física en la problemática costera del Golfo de Urabá, Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 8(1):123-135

- Bhuyan, M. S., Venkatramanan, S., Selvam, S., Szabo, S., Hossain, M. M., Rashed-Un-Nabi, M., ... & Islam, M. S. 2020. Plastics in marine ecosystem: a review of their sources and pollution conduits. *Regional Studies in Marine Science*, 41, 101539.
- Boucher, J. y 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.
- Buenaventura Medio Ambiente S.A. ESP. 2023. Empresa prestadora del servicio público domiciliario de aseo Buenaventura - Valle del Cauca contrato de condiciones uniformes. 25 p.
- Burgos-Núñez, S., Navarro-Frómeta, A., Marrugo-Negrete, J., Enamorado-Montes, G., Urango-Cárdenas, I. 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in the Cispatá Bay, Colombia: a marine tropical ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*, 120, 379-386. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.016>
- Cadavid-Velásquez, E. de J., Pérez-Vásquez, N. del S., Marrugo-Negrete, J. 2019. Contaminación por metales pesados en la bahía Cispatá en Córdoba-Colombia y su bioacumulación en macromicetos. *Gestión y Ambiente*, 22(1), 43-53. <https://doi.org/10.15446/ga.v22n1.76380>
- 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.
- Cañón, M., G. Tous, K. López, R. López y F. Orozco. 2007. Variación espaciotemporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico en la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH*. 25: 120-134.
- Castaño, A., Urrego, L. & Bernal, G. 2010. Dinámica del manglar en el complejo lagunar de Cispatá (Caribe colombiano) en los últimos 900 años. *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 1347-1366. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i4.5417>
- CITUR. 2020. Estadísticas Nacionales - Flujo de Turistas. Centro de información Turística de Colombia, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. http://www.citur.gov.co/estadisticas/df_viajeros_ciudad_destino/all/2#gsc.tab=0.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62(12), 2588-2597.
- Coneo, P. & Causil, V. 2020. Evaluación de la cantidad de residuos sólidos y del índice de costa limpia en la playa La Coquerita, Coveñas – Sucre. Tesis de pregrado, Facultad de Ingenierías. Universidad de Córdoba.
- Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres. 2012. Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre. Repositorio de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/18599/Los%20C%C3%B3rdobas_C%C3%B3rdoba.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- CORALINA e INVEMAR. 2012. Atlas de la Reserva de Biósfera Seaflower. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Gómez-López, D.I., C. Segura-Quintero, P.C. Sierra-Correa y J. Garay-Tinoco (Eds). Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR No. 28. Santa Marta, Colombia 180 p.
- CORPOGUAJIRA e INVEMAR. 2012. Atlas marino costero de La Guajira. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar No. 27. Santa Marta, Colombia. 188p.
- DANE. 2019. Censo nacional de población y vivienda – CNPV – 2018. Manual de conceptos básicos. Consultado en línea el 13 de enero del 2022 en: <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/CNPV-2018-manual-conceptos.pdf>
- Daniel, D., Thomas, S., Thomson, K. 2020. Assessment of fishing-related plastic debris along the beaches in Kerala Coast, India. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110696. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110696>
- Diaz, D. V. 2002. Efectos del enriquecimiento con nitrógeno y fósforo sobre el metabolismo de la comunidad fitoplanctónica de la Ciénaga de Pajarales y río Fundación, Caribe colombiano.
- DIMAR-CCCP.2012. Panorama de la contaminación marina del Pacífico colombiano 2005-2010. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. Serie de Publicaciones Especiales Vol. 7, San Andrés de Tumaco, Colombia. 158 pp.
- Do Sul, JAI y Costa, MF 2014. El presente y futuro de la contaminación por microplásticos en el medio marino. *Contaminación ambiental*. 185, 352-364.
- DNP. 2020. Colombia potencia bioceánica sostenible 2020. Consejo nacional de política Económica y Social – CONPES 3990. Documento CONPES 3930. 91p. Bogotá. D.C.
- Duan, J., Han, J., Cheung, S. G., Chong, R. K. Y., Lo, C. M., Lee, F. W. F., Xu, S. J. L., Yang, Y., Tam, N. F. yee, & Zhou, H. C. 2021. How mangrove plants affect microplastic distribution in sediments of coastal wetlands: Case study in Shenzhen Bay, South China. *Science of The Total Environment*, 767, 144695. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.144695>
- Echeverry-Hernández, J. P. 2019. Aproximación metodológica para el cálculo de índices de sensibilidad costera ante erosión, Departamento de Bolívar (Doctoral dissertation).
- Ecoversa. 2014. Servicios Ambientales de Ecosistemas Marinos – Costeros. Tercer Informe: Producto 3: “Recomendaciones para la incorporación de estrategias y medidas de gestión de los servicios ecosistémicos en los planes de manejo de las siete UACs”. Disponible en: <http://geonodesiam.invemar.org.co/documents/3665/download> (con acceso el 02/02/2022).
- 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>
- Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., & Reisser, J. 2014. Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PloS one*, 9(12), e111913.

- Feria, J., González, H., Marrugo, J. 2010. Heavy metals in Sinú river, department of Córdoba, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Antioquia*, 55, 35-44.
- Folk R. & W Ward. 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-27.
- Fundación Natura e INVEMAR. 2019. Servicios ecosistémicos marinos y costeros de Colombia. Énfasis en manglares y pastos marinos. Santa Marta. 34p.
- Garay, J., G. Ramirez; J. Betancourt, B. Marín, B. Cadavid, L. Panizzo, J. Lesmes, H. Sánchez y A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR. Serie Documentos Generales N° 13. Santa Marta. 177 p.
- Garcés-Ordóñez, O., Espinosa L, Pereira R., Muniz M., 2020a. Impact of tourism activity on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 160: 111558. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111558>
- Garcés-Ordóñez, O., Espinosa, L. F., Cardoso, R. P., Cardozo, B. B. I., & Anjos, R. M. 2020b. Plastic litter pollution along sandy beaches in the Caribbean and Pacific coast of Colombia. *Environmental Pollution*, 267, 115495. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115495>
- Garcés-Ordóñez, O., Espinosa, L. F., Costa Muniz, M., Salles Pereira, L. B. & Meigikos dos Anjos, R. 2021. Abundance, distribution, and characteristics of microplastics in coastal surface waters of the Colombian Caribbean and Pacific. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(32), 43431-43442. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13723-x>.
- 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-Valencia, C. (Ed). 2007. Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –Invemar– y Gobernación de Antioquia. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar N° 12. Santa Marta, Colombia. 180p.
- Gavio, B., Palmer-Cantillo, S., & Mancera, J. E. 2010. Historical analysis (2000–2005) of the coastal water quality in San Andrés Island, SeaFlower Biosphere Reserve, Caribbean Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, 60(7), 1018-1030.
- Gobernación del Chocó. 2020. Plan de desarrollo departamental del Chocó 2020-2023. 513p
- 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.
- Gómez-Aguirre, A. M., & Turbay, S. 2016. Relación de una comunidad de pescadores del golfo de Urabá (Colombia) con los ecosistemas de manglar y su conservación. *Revista de Estudios Sociales*, (55), 104-119.
- Gómez Cuartas, A. y López Suarez, K. 2019. Evaluación de contaminación microbiológica antropogénica en agua de mar de la bahía de Cartagena-Bolívar durante abril a julio de 2019. *Boletín Científico CIOH*, 39(1), 23-32. <https://doi.org/10.26640/2159045.2020.499>.

- Gómez-Cubillos, C., L. Licero, L. Perdomo, A. Rodríguez, D. Romero, D. Ballesteros-Contreras, D. Gómez-López, A. Melo, L. Chasqui, M. A. Ocampo, D. Alonso, J. García, C. Peña, M. Bastidas y C. Ricaurte. 2015. Portafolio "Áreas de arrecifes de coral, pastos marinos, playas de arena y manglares con potencial de restauración en Colombia". Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 79, Santa Marta. 69 p.
- Hernández, C. A. y Márquez, G. E. 1991. Producción primaria en el ecosistema Ciénaga Grande de Santa Marta, laguna costera del Caribe Colombiano. *Trianea*, 4: 385- 407.
- Hidalgo-Ruz, V., D. Honorato-Zimmer, M. Gatta, P. Núñez, I. Hinojosa y M. Thiel. 2018. Spatio-temporal variation of anthropogenic marine debris on Chilean beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 126, 516-524. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.014>
- Hinestrosa, M. R., & Ramos, C. A. V. 2015. Usos del mangle en los barrios Gaitán y Bahía el Uno del municipio de Turbo Antioquia. *Revista Kogoró*, (7), 28-37.
- ICA, 2023. Resolución No. 00001750 del 01 de marzo de 2023 "Por medio de la cual se declara en cuarentena sanitaria el Parque Nacional Natural Isla Gorgona, ubicado en el municipio de Guapi, del departamento del Cauca, dada la presencia de Influenza Aviar de Alta Patogenicidad". Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- IDEAM. 2019. Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Ideam: 452 pp.
- IDEAM, 2023a. Cartilla de pleamares y bajamares costa pacífica colombiana. Servicio mareográfico.
- IDEAM, 2023b. Boletín Climatológico Mensual. Boletín No. 10. octubre de 2023. Bogotá D.C.
- INVEMAR, 2014. Elementos técnicos que permitan establecer medidas de manejo, control, uso sostenible y restauración de los ecosistemas costeros y marinos del país. Código: ACT-BEM-001-014. Informe técnico final. Convenio MADS-INVEMAR No. 190. Santa Marta, Colombia.
- INVEMAR, 2018. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Bayona-Arenas, M. y Garces-Ordóñez, O. (Ed). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia e REDCAM. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del. INVEMAR, Santa Marta, p. 336.
- INVEMAR. 2019a. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Luisa F. Espinosa y Ostin Garcés (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico 2018. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 212 p.
- INVEMAR. 2019b. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2018. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 200 p.
- INVEMAR. 2020. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 183 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. 2023a. Diagnóstico de calidad ambiental marina REDCAM. Cusba, J, P. Obando y L. Espinosa (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico final 2022, Santa Marta. 233 p.
- INVEMAR. 2023b. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2023. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 242 p
- INVEMAR-CRA. 2022. Monitoreo de calidad de aguas marinas y costeras en el marco de la REDCAM y evaluación de calidad ambiental del ecosistema de pastos marinos en Puerto Velero, zona costera del departamento del Atlántico. Informe Técnico de Final. Convenio 0010-2021. PRY-CAM-028-21. CRAINVEMAR. Santa Marta. 45 p.
- INVEMAR-CRA. 2023. 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.
- INVEMAR-MADS, 2017. Resolución No. 646 de 2017. Formulación de lineamientos, medidas de conservación, manejo y uso de ecosistemas marinos y costeros, con la intención de apoyar acciones de fortalecimiento en la gestión ambiental de las zonas costeras de Colombia 239 p + Anexos
- Iñiguez, M.E., Conesa, J.A., Fullana, A., 2016. Marine debris occurrence and treatment: a review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 64, 394–402. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.031>.
- Jeon, S., Jeon, J. H., Jeong, J., Kim, G., Lee, S., Kim, S., ... y Cho, W. S. (2023). Size-and oxidative potential-dependent toxicity of environmentally relevant expanded polystyrene styrofoam microplastics to macrophages. *Journal of Hazardous Materials*, 459, 132295
- Knox, G.A. 2001. *The ecology of seashore*. CRC Press. Boca Raton. 557 p.
- Kovač, M., A. Palatinus, Š. Koren, M. Peterlin, P. Horvat y A. Kržan. 2016. Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis. *Journal of Visualized Experiments*, 118, e55161. <https://doi.org/10.3791/55161>
- Law, K. L. 2017. Plastics in the marine environment. *Annual review of marine science*, 9, 205-229.
- Lazala, M., & Parra, L. N. 2010. Geología estructural y Geomorfología. Pp. 15 - 21. En: J.O. Rangel-Ch. (ed). *Colombia diversidad biótica IX. Ciénagas de Córdoba: biodiversidad, ecología y manejo ambiental: Corporación Autónoma Regional de los valles del Sinú y del San Jorge-CVS, Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá, Colombia.*

- Lebreton, L., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J., Slat, B., Andrady, A. L., & Reisser, J. 2017. River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- Lonin, S. A., & Mendoza, L. A. 1997. Evaluación hidrodinámica de las bahías Hooker e Icacos. *Boletín Científico CIOH*, (18), 51–64. <https://doi.org/10.26640/22159045.92>
- Lonin, S., Parra, C., Andrade, C., & Thomas, Y. F. 2004. Patrones de la pluma turbia del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH*, (22), 77-89.
- López M. y Madroñero S. 2015. Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso laguna de La Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25 (2), pp. 21-42, DOI:<http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1430>.
- 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.
- 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.
- Marrugo, J., Pinedo, J., Diez, S. 2017. Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River Basin, Colombia. *Environmental Research*, 154, 380-388. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.02>.
- 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.
- MinSalud – Ministerio de Salud. 1984. Decreto No. 1594 del 26 de junio de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III – Libro I – del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos, Bogotá. 61 p.
- 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>
- Montaño, N. A. 2019. Diagnóstico de los principales problemas ambientales en los territorios ganados al mar en el área urbana el distrito de Buenaventura. *Sabia revista científica*, 5(1), 159-171. <https://doi.org/10.47366/sabia.v5n1a11>
- Moreno, H. S., Bolívar-Anillo, H. J., Soto-Varela, Z. E., Aranguren, Y., González, C. P., Daza, D. A. V., & Anfuso, G. 2019. Microbiological water quality and sources of contamination along the coast of the Department of Atlántico (Caribbean Sea of Colombia). Preliminary results. *Marine pollution bulletin*, 142, 303-308.

- Moscarella, M. V., García, F., & Palacio, C. 2011. Calidad microbiológica del agua de la bahía de Santa Marta, Colombia. *Dyna*, 78(167), 132-141.
- NOAA. 2022. National Oceanic and Atmospheric Administration. National Weather Service, climate prediction Center. Monitoring and data: current monthly atmospheric and sea surface temperatures index values. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices>
- OCDE. 1982. Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control. Paris. 154 p.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. 2003. Directrices para ambientes de aguas recreativas seguras. Costa y aguas frescas. Vol. 1. Ginebra. 219 p
- Ortiz, A. G. R., & Ramírez, L. P. C. 2018. Valoración de la calidad del agua a partir de la visión de agentes sociales en la cuenca hidrográfica del Río Dagua. *Entorno geográfico*, 50-79. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i16.7148>
- OSPAR. 2010. Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area. London. 84 p. <https://www.ospar.org/ospar>
- Paramo, J., Espinosa, L., Posada, B., Núñez S. y Benavides, S. 2012. Distribución espacial de sedimentos en la región Norte del Caribe colombiano, *Boletín de investigaciones Marinas y Costeras*, 41(1): 9-28.
- Pimienta Serrano, E. V. 2022. Caracterización de los residuos sólidos e impactos de las actividades antropogénicas como fuentes generadoras en playas de la costa noroeste del departamento de la Guajira.
- Portz, L., Manzolli, R. P., Herrera, G. V., Garcia, L. L., Villate, D. A., & do Sul, J. A. I. 2020. Marine litter arrived: Distribution and potential sources on an unpopulated atoll in the Seaflower Biosphere Reserve, Caribbean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 157, 111323.
- Preciado-Estupiñan, D. K., & Zapata-Laarenas, A. P. 2020. Contaminación por basura marina y microplástico en puntos priorizados de suelos de manglar del municipio de San Andrés de Tumaco–Nariño (Doctoral dissertation, Uniautónoma del Cauca. Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria).
- Quesada-Martínez, S. Q., Murillo-Hinestorza, Y. M., & Vargas-Porras, L. V. 2014. Influencia de la marea y factores antropogénicos sobre la calidad fisicoquímica de aguas costeras en Nuquí, Chocó. *Revista Bioetnia*, 11(1), 17-24.
- Quintana-Saavedra, D. M., y Santa-Ríos, A. 2013. Calidad de aguas marino-costeras del Caribe colombiano en época seca. *Boletín Científico CIOH*, 31, 29-48. <https://doi.org/10.26640/22159045.250>
- R Core Team. 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- Rangel-Buitrago, N., Williams, A., Anfuso, G., Arias, M., & Gracia, A. 2017. Magnitudes, sources, and management of beach litter along the Atlantico department coastline, Caribbean coast of Colombia. *Ocean & Coastal Management*, 138, 142-157.
- Rangel-Buitrago, N., Williams, A. y Anfuso, G. 2018. Killing the goose with the golden eggs: litter effects on scenic quality of the Caribbean coast of Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 22-38.

- Rangel-Buitrago, N., Arroyo-Olarte, H., Trilleras, J., Arana, V. A., Mantilla-Barbosa, E., Gracia, C. A., Mendoza, A. V., Neal, W. J., Williams, A. T., & Micallef, A. 2021. Microplastics pollution on Colombian Central Caribbean beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112685. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112685>
- Rangel-Ch, O. J., & Arellano-P, H. 2004. Clima del Chocó biogeográfico/Costa pacífica de Colombia. *Colombia Diversidad Biótica. IV. El Chocó biogeográfico/Costa Pacífica*. Instituto de Ciencias Naturales-Ocnseervación Internacional, Bogotá, 39-82.
- Reyes, A. F. A., & Fontalvo, J. A. L. 2020. Calidad microbiológica del agua de las playas del sector turístico de Santa Marta, Caribe colombiano. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2020*. <https://doi.org/10.26507/ponencia.848>
- Ricaurte-Villota, C. y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.). 2017. Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés (INVEMAR). Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR # 14. Santa Marta, Colombia 180 p.
- Ricaurte-Villota, C., O. Coca-Domínguez, M.E. González, M. Bejarano-Espinosa, D.F. Morales, C. Correa-Rojas, F. Briceño-Zuluaga, G.A. Legarda y M.E. Arteaga. 2018. Amenaza y vulnerabilidad por erosión costera en Colombia: enfoque regional para la gestión del riesgo. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR # 33. Santa Marta, Colombia. 268 p.
- Rodríguez-Grimón, R., Campos, N. H., & Castro, Í. B. 2021. Effect of Maritime Traffic on Water Quality Parameters in Santa Marta, Colombia. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(5), 474.
- Rojas, A. F. 2021. Abundancia de microplásticos en algunas playas del departamento del Magdalena. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/22158>.
- Roqueme, J., Pinedo, J., Marrugo, J. L., & Aparicio, A. 2014. Metales pesados en suelos agrícolas del valle medio y bajo del río Sinú, departamento de Córdoba. En *Sistema de Universidades Estatales del Caribe Colombiano, Memorias del II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe & VII Seminario Internacional de Gestión Ambiental* (pp. 106-112). http://mca.edu.co/wp-content/uploads/2019/09/m2014_16.pdf
- Ruíz-Ochoa, M., Bernal, G. & Polanía, J. 2010. Influencia del río Sinú y el mar Caribe en el sistema lagunar de Cispatá. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37(1): 29–49. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2008.37.1.180>.
- RUNAP. 2022. Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Disponible en: <https://runap.parquesnacionales.gov.co/> (con acceso el 03/01/2022).
- Saldarriaga-Vélez J.F, Obando Madera P.S., Espinosa-Díaz L., 2022. Diagnóstico y Evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento del Cauca. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. Convenio 304-2021 CRC-INVEMAR. Informe técnico 2022. Santa Marta. 33 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.
- Shirodkar P.V., Deepthi M., Vethamony P., Mesquita A.M., Pradhan U.K., Babu M.T., Verlecar X.N., Haldankar S.R., 2011. Tide dependent seasonal changes in the water quality and assimilative capacity of anthropogenically influenced Mormugao harbour water. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. 41 (4). 314-330 p.
- Sobek, S., Tranvik, L. J., Prairie, Y. T., Kortelainen, P. & Cole, J. J. 2007. Patterns and regulation of dissolved organic carbon: An analysis of 7,500 widely distributed lakes. *Limnology and Oceanography*, 52(3), 1208–1219. <https://doi.org/10.4319/lo.2007.52.3.1208>.
- Sunderland, D., T. Graczyk, I. Tamang y P. Breysse. 2007. Impact of bathers on levels of *Cryptosporidium parvum* oocysts and *Giardia lamblia* cyst in recreational beach waters. *Water Research*, 41, 3483 – 3489.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios Superservicios. 2020. Informe nacional de coberturas de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo. 61 pp.
- Superservicios y DNP. 2018. Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado 2014 – 2017. Bogotá D.C. 88 p.
- Tosic. M., J.D. Restrepo, S. Lonin, A. Izquierdo y F. Martins. 2017. Water and sediment quality in Cartagena Bay, Colombia: seasonal variability and potential impacts of pollution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 216, 187-203.
- Tosic, M., & Restrepo Angel, J. D. 2023. Sustainability impacts of sediments on the estuary, ports, and fishing communities of Cartagena Bay, Colombian Caribbean. *WIREs Water*, e1709. <https://doi.org/10.1002/wat2.1709>
- 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.
- 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.
- Vergara-Flórez, V., Mielles-Galindo, J., Nani, G., Sandoval-Herazo, M., & Sandoval Herazo, L. C. 2023. Treatment Wetland with *Thalia geniculata* for Wastewater Depuration in the Department of Sucre, Colombia. *Processes*, 11(9), 2754.
- Vidal, L., Sandoval, A. E. M., & Duque, G. 2021. Incremento de la contaminación por microplásticos en aguas superficiales de la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 50(2), 113-132. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.2.1032>.
- Vivas-Aguas, L.J. 2011. Formulación del índice de calidad de aguas costeras (ICAM) para los países del Pacífico Sudeste. Documento Metodológico. Proyecto -SPINCAM. INVEMAR. Santa Marta. 42 p.
- Vivas-Aguas, L.J., K. Ibarra, J. Sánchez, M. Martínez, 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., P.S. Obando-Madera y L. Arias-Alemán. 2017. Hoja metodológica del indicador. Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras – ICAM. Versión 3. Santa Marta D.T.C.H., Colombia. 16 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.

Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. Retrieved from.

Yu, Q., Hu, X., Yang, B., Zhang, G., Wang, J., Ling, W. 2020. Distribution, abundance and risks of microplastics in the environment. *Chemosphere*, 126059. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126059>

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.