

Instituto de Investigaciónes Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andréis" Vinculado al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

































Conserva la vida

#### DIRECTIVOS INVEMAR

#### **Director General**

Francisco A. Arias Isaza

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

Subdiretora 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 (E) 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)

#### JOSÉ FRANCISCO AVILA CUSBA

Investigador científico Línea ESC – Programa CAM CARLOS ANDRÉS PACHECO VÉLEZ

Investigador científico Línea ESC – Programa CAM JUAN FERNANDO SALDARRIAGA VÉLEZ

Investigador científico Línea ESC – Programa CAM
KAREN PATRICIA IBARRA GUTIERREZ

Investigadora científica Línea ESC - Programa CAM

#### JAIR JOSÉ VALDÉS CARRASCAL

Auxiliar de investigación Línea ESC - Programa CAM

#### <u>Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental</u> <u>Marina (LABCAM):</u>

Cesar Bernal, Leydy Alarcón, Yurley Tatiana Zapata, Olga Díaz, Roika Angulo, Halbin Serrano, Álvaro Robles, Daniela Moreno y Kelvin Varela.

#### Laboratorio de Servicios de Información (LABSIS):

Carolina García, Leonardo Arias, Janneth Beltrán y Diana Romero.

#### **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. 2023. Diagnóstico de calidad ambiental marina REDCAM. Cusba, J, P. Obando y L. Espinosa (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico final 2022, Santa Marta. 233 p.

#### Citar capítulo como:

Autores. 2023. Título. Intervalo de páginas. En: INVEMAR. 2023. Diagnóstico de calidad ambiental marina REDCAM. Cusba, J, P. Obando y L. Espinosa (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico final 2022, Santa Marta. 233 p.

Edición de imagen:

Angie Alejandra Ramirez Niño – CMC INVEMAR

### EQUIPO TÉCNICO DE LOS MIEMBROS DE LA REDCAM

### MINAMBIENTE - DIRECCIÓN DE ASUNTOS MARINOS, COSTEROS Y RECURSOS ACUÁTICOS

Ximena Rojas – directora Técnica Jorge Acosta Rivera Ana Arriaga R.

#### **CORALINA**

Gilberto Myles-Subdirector de Mares y Costas Nacor Bolaños-Coordinador de Áreas Marinas Protegidas Cindy Fortune – Coordinador de Laboratorio de Calidad Ambiental

#### **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 Torregroza – Profesional Especializado

#### C.R.A.

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

#### **CARDIQUE**

Mady Carolina García – Jefe de Oficina Laboratorio Ildefonso 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 Vélez Hernandez - Coordinador Territorial Caribe Lucas Eduardo Pérez- Ecólogo Unidad Ambiental Costera Jonny Hernández – Oceanógrafo Unidad Ambiental Costera. Cristian Cuesta – Ecólogo 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 Rodriguez –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
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**

Nathalia Moreno – Subdirectora de conocimiento y evaluación ambiental Marcela Caviedes C. – Profesional Universitario Claudia Parra Perez – Técnico Operativo Francisco Leusson Garcia Solis – Operario

### **AUTORES POR CAPÍTULO**

### Capitulo: ANÁLISIS NACIONAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS

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

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

Karen Ibarra Gutierrez - 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

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

#### Análisis: DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO

Carlos Andrés Pacheco Vélez - INVEMAR José Francisco Avila Cusba – 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

Juan Fernando Saldarriaga Vélez- INVEMAR Paola Sofía Obando Madera – INVEMAR Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

#### Análisis: DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

Carlos Andrés Pacheco Vélez – INVEMAR Paola Sofía Obando Madera – INVEMAR José Francisco Avila Cusba – INVEMAR Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

#### Análisis: DEPARTAMENTO DE ANTIQUIA

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

#### Análisis: DEPARTAMENTO DE CAUCA

Juan Fernando Saldarriaga Vélez- INVEMAR Paola Sofía Obando Madera- INVEMAR Luisa Fernanda Espinosa Díaz - INVEMAR

#### Análisis: DEPARTAMENTO DE NARIÑO

Juan Fernando Saldarriaga Vélez- INVEMAR Paola Sofía Obando Madera – INVEMAR José Francisco Avila Cusba – INVEMAR Luisa Fernanda Espinosa Díaz – INVEMAR

### CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	7
2.	ÁREA DE ESTUDIO	8
3.	METODOLOGÍA	11
4.	ANÁLISIS NACIONAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS	21
5.	DEPARTAMENTO ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA	45
6.	DEPARTAMENTO LA GUAJIRA	57
7.	DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA	75
8.	DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO	91
9.	DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR	117
10.	DEPARTAMENTO DE SUCRE	130
11.	DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA	140
12.	DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA	155
13.	DEPARTAMENTO DE CHOCÓ	167
14.	DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA	178
15.	DEPARTAMENTO DEL CAUCA	192
16.	DEPARTAMENTO DE NARIÑO	204
BIBL	IOGRAFÍA	214

### 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 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente) y las 12 corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible con injerencia marina y costera, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, C.R.A., CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. La REDCAM tiene como objetivo principal contribuir con las bases científicas sobre la calidad ambiental marino costera de Colombia, para generar estrategias de manejo integrado y aprovechamiento sostenible de sus aguas, sedimentos y recursos naturales asociados; y mantener una red de monitoreo que comprenda la franja marino-costera del país.

Desde su inicio, la REDCAM ha monitoreado semestralmente la calidad del agua marina y costera en aproximadamente 350 estaciones distribuidas en el Caribe y Pacífico colombianos. Desde el año 2017, el INVEMAR inició un proceso de fortalecimiento de capacidades técnicas para incluir nuevas variables de calidad del agua, atendiendo a los retos globales de preocupación como la contaminación por basura marina y microplásticos; la acidificación de los océanos y la eutrofización de las aguas marinas y costeras.

El presente informe técnico contiene el diagnóstico de calidad de aguas marinas y costeras en un contexto nacional, donde se presentan los resultados del índice de calidad ambiental marina - ICAMPFF, el análisis de información sobre las variables fisicoquímicas, microbiológicas y contaminantes recolectados en agua y sedimentos, en las estaciones REDCAM distribuidas entre los 12 departamentos costeros del país. Adicionalmente, se presentan los resultados de macrobasura y microplásticos en arena de playa y manglar, mostrando el estado de contaminación en las estaciones monitoreadas con el fin de levantar línea base que contribuya al conocimiento técnico – científico y referente para proponer estrategias sostenibles para contrarrestar la contaminación por microplásticos y basura marina.

### 2. ÁREA DE ESTUDIO

Históricamente la REDCAM ha monitoreado la calidad de las aguas marinas y costeras en aproximadamente 350 estaciones (puntos de muestreo) distribuidas en los 12 departamentos costeros de Colombia (Figura 2-1). En el 2022, el monitoreo REDCAM se realizó para un total de 296 estaciones, 206 distribuidas en la región Caribe, en la zona marina y costera de los departamentos San Andrés, Providencia y Santa Catalina, La Guajira, Magdalena, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia, y 90 estaciones en el Pacífico, ubicadas en los departamentos de Chocó, Valle del Cauca y Cauca. Cabe mencionar que en el 2022 no se realizó muestreo en el departamento de Nariño (Figura 2-2).

Las estaciones (puntos de muestreo) se ubican en sitios de importancia económica y ambiental, como golfos, bahías, lagunas costeras, ciénagas, playas, cuencas bajas y frentes de los principales ríos que desembocan al mar Caribe y al océano Pacífico.

**22** años de monitoreo REDCAM

206 estaciones monitoreadas en el Caribe (año 2022)

90 estaciones monitoreadas en el Pacífico (año 2022)

>500.000 registros alojados en el sistema de información REDCAM

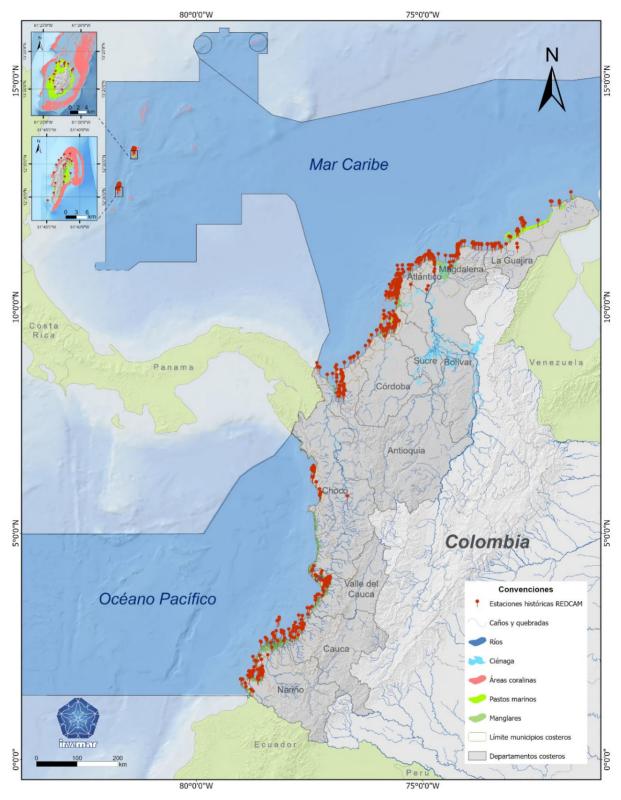


Figura 2-1 Mapa de la red de estaciones histórica de monitoreo de la REDCAM (puntos de color rojo), en las costas del Caribe y del Pacífico colombianos.



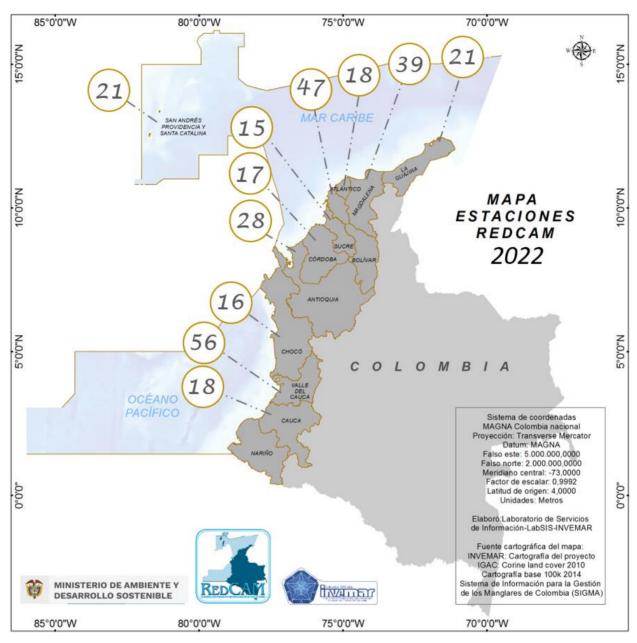


Figura 2-2. Mapa representativo con la cantidad de estaciones REDCAM monitoreadas en 2022 por departamento.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 FASE DE CAMPO

El diseño de muestreo de la REDCAM es semestral, tratando de abarcar las épocas climáticas de lluvias y sequía; no obstante, durante el 2022, en los departamentos de San Andrés y Providencia, Sucre, Córdoba y Chocó, solo se realizó un muestreo. Los monitoreos de los departamentos de Magdalena, La Guaiira, Atlántico, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño (hasta el año 2021) han sido realizados por personal del INVEMAR, con el apoyo de las respectivas corporaciones. En los departamentos de Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Bolívar, Antioquia y Valle del Cauca, los muestreos REDCAM son realizados por personal de las Corporaciones, debido a la capacidad técnica de sus laboratorios para poder realizar los análisis de manera autónoma, sin embargo, para el año 2022, debido al proceso de certificación y reporte del índice de calidad de aguas marinas y costeras - ICAM como una operación estadística del orden nacional, INVEMAR tuvo que llevar a cabo el muestreo en 10 departamentos (San Andrés Islas, La Guaiira, Magdalena, Atlántico, Sucre, Córdoba, Chocó, Valle del Cauca y Cauca), con el fin de generar información con la calidad estadística y analítica requerida para el reporte del ICAM. Todos los análisis fueron realizados en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina – LABCAM del INVEMAR, acreditado bajo la Norma ISO/IEC 17025.

En todas las estaciones de muestreo se midieron *in situ* las variables temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, con equipos portátiles previamente calibrados, usando la metodología descrita en la Tabla 3-1. Así mismo se recolectaron muestras de agua para analizar en el laboratorio las variables fisicoquímicas, microbiológicas, contaminantes orgánicos (hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de Criseno, plaguicidas organoclorados y organofosforados) y metales pesados disueltos. En las estaciones donde se recolectaron muestras de sedimento, se midió materia orgánica, hidrocarburos del petróleo, plaguicidas organoclorados y organofosforados y metales pesados totales.

Tabla 3-1. Metodologías utilizadas para el análisis de las variables fisicoquímicas medidas in situ

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
	Salinidad	Electrométrico	g/L	<u>APHA et al., 2017</u> (N° 2520-B)
	Conductividad	Electrométrico	mS/cm	<u>APHA et al., 2017</u> (N° 2520-B)
Fisico químicos -	рН	Potenciométrico	Unidad	<u>APHA et al., 2017</u> (N° 4500-H B)
· isicoquiiiicos	Oxígeno disuelto	Membrana permeable	mg/L	APHA et al., 2017 (N° 4500-O G)
	Temperatura	Electrométrico	°C	<u>APHA et al., 2017</u> (N° 2550 B)
	Transparencia Secchi	Disco Secchi	m	Garay et al., 2003



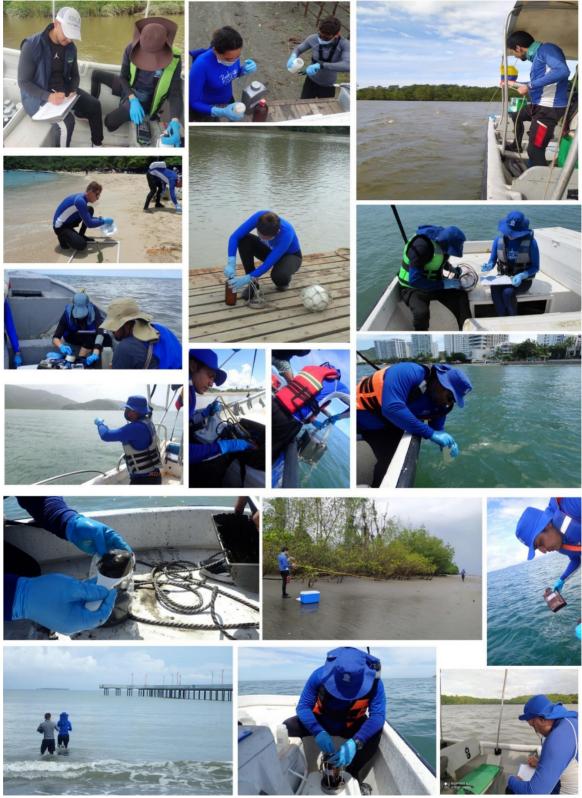


Figura 3-1. Fotográficas de las salidas de campo realizadas en los diferentes departamentos costeros de Colombia

#### 3.2 FASE DE LABORATORIO

En la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR, laboratorio acreditado bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025:2017, emitido por IDEAM bajo la resolución 0049 del 15 de enero del 2021, se analizaron las muestras de agua y sedimento recolectadas en los departamentos de Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina, La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Chocó, Valle del Cauca y Cauca. Las muestras tomadas en 2021-2022, que se analizaron en INVEMAR siguieron las metodologías estandarizadas para las variables de calidad de aguas, las cuales se describen en la Tabla 3-2. CORPOGUAJIRA (Tabla 3.3), CARDIQUE (Tabla 3.4), CORPOURABÁ (Tabla 3.5) y CVC realizaron los análisis de las muestras recopiladas en sus respectivos departamentos teniendo en cuenta los procedimientos internos de cada laboratorio.

Tabla 3-2. Metodologías utilizadas para el análisis de las variables de calidad de aguas en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR.

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
	Sólidos Suspendidos Totales	Gravimetría	mg/L	<u>APHA et al., 2017</u> (N° 2540- D)
	Amonio, Nitritos, Nitratos, Fosfatos	Colorimetría	μg/L	Strikland Y Parsons, 1972
	Silicatos	Espectrofotométrico	μg/L	UNESCO/COI, 1983
	Clorofila a	Método tricromático por Espectrofotometría	μg/L	APHA et al., 2017 (N° 10200 H)
Fisicoquímicas	Fósforo total	Digestión con persulfato de potasio y cuantificación colorimétrica de ácido ascórbico	μg/L	Strikland Y Parsons, 1972  APHA et al., 2017 (N° 4500-PB)
	СОТ	Combustión catalítica y determinación por analizador	mg/L	<u>APHA et al., 2017</u> (N° 5310 B)
		de carbono total		
	Granulometria	Método gravimétrico dispersión con hexametafosfato de sodio y cribado en tamices	%	Dewis y Freitas, 1984
	СОТ	Oxidación seca de carbono y cuantificación por analizador de carbono TOC	%	ISO 11464:2006 NTC 5403 A
Plaguicidas organoclorados	Hexaclorocicohexano total, Aldrín, Heptacloro, Organoclorados totales, Sumatoria DDT y sus metabolitos	Extracción líquido-líquido con diclorometano y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM	ng/L	PNUMA, 2008
Plaguicidas de uso actual	Diuron, Diazinon, Clorotalonil, MetilParation, Bromacil, Clorpirifos, Fenaminfos, Cis-	Extracción líquido-líquido con diclorometano y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM	ng/L	<u>PNUMA, 2008</u>



Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
	Permetrina y trans- Permetrina,			
Hidrocarburos	Hidrocarburos aromáticos disueltos y dispersos	Extracción líquido-líquido con diclorometano y determinación fluorométrica.	μg/L	UNESCO/COI, 1984 Garay et al., 2003
Metales	Cadmio, Cobre, Hierro, Níquel, Plomo, Zinc	Tratamiento con APDC y MIBK para extracción selectiva, seguido de re-extracción en fase ácida con HNO3 1N y posterior cuantificación por espectrometría de AA con llama	µg/L	APHA et al., 2017 (N° 3111- C) Garay et al., 2003 EPA 3052
	Totales (Cadmio, Cobre, Hierro, Níquel, Plomo, Zinc, Cromo)	Digestión asistida por microondas y cuantificación por espectrometría AA llama	h\â	SW 846 rev 0, 1996 (EPA 3052) APHA et al., 2017 (N° 3111 B)
	Mercurio	Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica.	µg/L	SW 846 rev 0,2007 (EPA 7473)
	Mercurio Total	Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción	ng/g	<u>SW 846 rev 0,2007</u> (EPA 7473)
		atómica.		
	Cromo hexavalente	Colorimetría	µg/L	<u>APHA et al., 2017</u> (N° 3500- Cr B)
Microbiológicos	Coliformes Totales	Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL	<u>APHA et al., 2017</u> (N° 9221 B)
	Coliformes Termotolerantes	Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL	<u>APHA et al., 2017</u> (N° 9221 E)
	Enterococos Fecales, E. coli	Filtración por membrana	UFC/ 100 mL	APHA et al., 2017 (N° 9230) APHA et al., 2017 (N° 9221) ISO 7899:2:2000

<sup>\*</sup>Plaguicidas medidos: aldrín, dieldrín, endrín aldehído, endrín cetona, ppDDT, ppDDD, ppDDE, a,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  HCH, heptacloro, heptacloro epóxido, a y  $\gamma$  clordano, endosulfán I y II, endosulfán sulfato, metoxicloro, dichlorvos, mevinphos, ethoprop, sulfotep, phorate, dimethoate, diazinon, clorotalonil, ronnel, paratión, metilparatión, bromacil, malatión, fenthion clorpirifós, tricloronato, tokuthion, bolstar, cis y trans-permetrina.

<sup>\*\*</sup>Hidrocarburos aromáticos medidos: naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a) antraceno, criseno, benzo(b) fluoranteno, benzo(k) fluoranteno, benzo(a) pireno, indeno (1,2,3-cd) pireno, dibenzo (a,h) antraceno y benzo(ghi) perilene.

Tabla 3.3. Parámetros y metodologías utilizadas en el Laboratorio Ambiental de CORPOGUAJIRA para las muestras de la REDCAM.

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida
	Conductividad	SM 2510 B, Electrométrico	μS/cm
	Oxígeno disuelto	SM 4500-O G, Electrométrico	mg/L
	Potencial REDOX	Electrométrico	mV
	рН	SM 4500-H+ B, Electrométrico	Unidades
	Salinidad	SM 2520 B, Electrométrico	g/L
Fisicoquímicas	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	SM 2540 D, Gravimétrico, secado a 104°	mg/L
	totales	C±1°C	
	Coliformes Totales	SM 9221 B, Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL
	Coliformes	SM 9221 B, E, Fermentación en tubos	NMP/100 mL
Microbiológicos	Termotolerantes	múltiples	
	Enterococos Fecales, E. coli	SM 9230 C, Filtración por membrana	UFC/ 100 mL

Tabla 3.4. Parámetros y metodologías utilizadas en el laboratorio de CARDIQUE para las muestras de la REDCAM.

		KEDCAM.		
Matriz	Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida
		Salinidad	S.M 2520-B	-
		Conductividad	S.M. 2510-B	mS/cm
		рН	S.M 4500-H-B	Unidad
		Oxígeno disuelto	S.M 4500-O-H	mg/L
		% Saturación de O2	S.M 4500-O-H	%
		Temperatura	S.M 2550-B	°C
	Fisico químicos <b>Securita</b>	SST	S.M. 2540-D	mg/L
Agua		Turbidez	S.M. 2130-B	NTU
		DBO <sub>5</sub>	S.M. 5210-B; 4500-	mgO₂/L
			O-H	-
		Nitratos	S.M. 4500-NO <sub>3</sub> -E	mg NO₃-N/L
		Nitritos	S.M. 4500-NO2-B	mg NO <sub>2</sub> -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
Sedimento	Fisicoquímicos	Materia Orgánica	Digestión ácida	mg/Kg
•	Contaminantes inorgánicos	Mercurio Total (SDMT)	Pyro 915+	μg/Kg

Tabla 3.5. Parámetros y metodologías utilizadas en el laboratorio de aguas de CORPOURABÁ para las muestras de la REDCAM.

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
	Conductividad	Electrométrico	m\$/cm	SM 2510 B ed. 23-2017
Fisicoquímicas	рН	Electrométrico	Unidad	SM 4500-H+ B ed. 23-2017
risicoquimicas	Oxígeno disuelto	Electrodo de Membrana	mg/L	SM 4500-O-G ed. 23-2017
	Temperatura	Sensor Temperatura	°C	SM 2550 B ed. 23-2017



Tipo variable	Tipo variable Nombre variable Método		Unidades medida	Referencia
	Sólidos Suspendidos Totales	Secado a 103-105°C	mg/L	SM 2540 D ed. 23-2017
	Turbidez	Nefelométrico	NTU	SM 2130 B ed. 23-2017.
	Nitrógeno Amoniacal	Método Fenato	mg/L	SM 4500 NH3 F.
	Nitritos	Colorimétrico	mg/L	SM 4500-NO2- B ed. 23-2017
	Nitratos	Reducción de cadmio	mg/L	SM 4500-NO3- E ed. 23-2017.
	Fosfatos	Ácido Ascórbico	mg/L	4500-P E ed. 23-2017
	Fósforo total	Ácido Ascórbico	mg/L	SM 4500-P B,E ed. 23-2017
	Clorofila a	Colorimétrico	μg/L	SM 10200 H ed. 23-2017
Plaguicidas	16 compuestos de pesticidas	Extracción Liquido - Liquido Por GC-MS	μg/L	Método Interno
	Disueltos (Zinc)	Filtración - Llama Directa Aire - Acetileno	mg/L	SM 3030 B - 3111 B
	Disueltos (Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo)	Filtración - Espectrometría de Absorción Atómica Electrotérmica	µg/L	SM 3030 B - 3113 B
Metales	Hierro	Método Fenantrolina	mg/L	SM 3500-Fe B
	Totales (Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo)	Digestión Microondas HPR-EN-33 - Espectrometría de Absorción Atómica Electrotérmica	µg/g	Digestión - SM 3113 B
	Mercurio Total	Descomposición térmica	μg/L	US EPA 7473.
	Coliformes Totales	Tubos Múltiples	NMP/100 mL	SM 9223 B, ed. 23-2017
Microbiológicos	Coliformes Termotolerantes	Tubos Múltiples	NMP/100 mL	SM 9221 B,E ed. 23-2017

Las muestras de basura marina se caracterizaron y analizaron de acuerdo con la metodología usada por <u>Garcés-Ordóñez et al. (2020)</u>. Las muestras de sedimento 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 clasificaron en seis categorías: fragmento, filamento, lámina, espuma, gránulo y pellet. Las unidades para basura marina y microplásticos en sedimento se expresaron en ítem/m².

### 3.3 MANEJO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para el análisis nacional, se realizaron diferentes técnicas de análisis. Para describir el comportamiento latitudinal y longitudinal de las variables de calidad de agua en el Caribe y Pacífico colombiano, se utilizaron modelos GAM. Para comprender las relaciones entre las variables fisicoquímicas y los fenómenos regionales de gran escala (ONI), se utilizaron los datos obtenidos entre 2010 y 2019, y se midió la relación estadística a partir del coeficiente de Pearson, utilizando el software R.

Adicionalmente, se utilizó un indicador local de asociación espacial – LISA para comprender la influencia espacial de los ríos en el comportamiento de algunas variables físicas, químicas y biológicas colectadas por la REDCAM. El índice escogido es el l' de Moran (Ecuación 3) dada su relación de vecindad local bivariada que facilitaba relacionar las distancias entre deltas y estaciones REDCAM.

$$I\left(\frac{N}{W}\right) = \frac{\Sigma i \Sigma j w j (x i - \bar{x})(x j - \bar{x})}{\Sigma i (x i - \bar{x})^2}$$
 Ecuación 3

En donde N corresponde al número de unidades de análisis, en este caso estaciones y  $W=\Sigma i\Sigma jwj$  es el total de vecindades entre las estaciones. Todo dentro de un marco de matriz de contigüidad espacial denominado W=(wij). El resultado es un valor en un rango de menos uno (-1) a uno (1) en donde se establecen patrones dispersos y agrupados respectivamente; valores cercanos a cero corresponden a ausencia de correlación y, por tanto, son estaciones con "No Significancia" espacial respecto a su valor y la distancia con los ríos (<u>Willington y Jhon, 2019</u>).

Para el análisis por departamento, los datos REDCAM se analizaron en función de la ubicación de las estaciones con destinación para la preservación de la fauna y flora y usos recreativos. Para la agrupación de las estaciones según el tipo de agua en términos de salinidad, se utilizó la clasificación de (Knox, 2001).

Con el propósito analizar la evolución de las condiciones de calidad del agua marina y costera en los departamentos Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño, se utilizó el Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras (ICAM), usando la metodología descrita por Vivas-Aguas (2011) y Vivas-Aguas et al (2021), con los datos disponibles en el sistema de información REDCAM hasta el año 2021. Este índice es una herramienta que permite analizar la tendencia y las variaciones de la calidad del agua marina y estuarina para la preservación de flora y fauna, mediante una ecuación de promedio geométrico ponderado (Ecuación 1) que integra la información de ocho variables (oxígeno disuelto, pH, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos totales, hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno -HPDD, demanda bioquímica de oxígeno y Coliformes Termotolerantes) para agua marina y en el caso del agua estuarina, se usan las concentraciones de clorofila a, en reemplazo de los HPDD. 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 (<u>Vivas-Aguas 2011</u>; <u>Vivas-Aguas et al., 2017</u>).

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

Donde:

 $x_i$ = subíndice de calidad de cada variable i  $w_i$ = factor de ponderación (peso) para el subíndice i

El ICAMPFF se aplicó en las estaciones que cumplían con el tipo de agua (marina o estuarina) y el número mínimo de seis variables para su cálculo. Dependiendo del resultado de calidad del agua arrojado por el ICAM, se proponen algunas alternativas de manejo para reducir o mitigar el impacto sobre el ecosistema que esté siendo afectado (Tabla 3-6). Para mayor información, se puede consultar la ficha metodológica del indicador, a través del enlace https://icaminvemar.opendata.arcgis.com/.

Tabla 3-6. Escalas de valoración y categorías del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM), y opciones de medidas que se pueden adoptar según la valoración obtenida del indicador (Vivas-Aguas, 2011: Modificado de Marín, 2001).

Escala de calidad	Categorías	Descripción	Opciones de medidas a adoptar	
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.	1 Manitarea y evaluación fisicadilimicas y taxicas	
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	Aguas 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.	

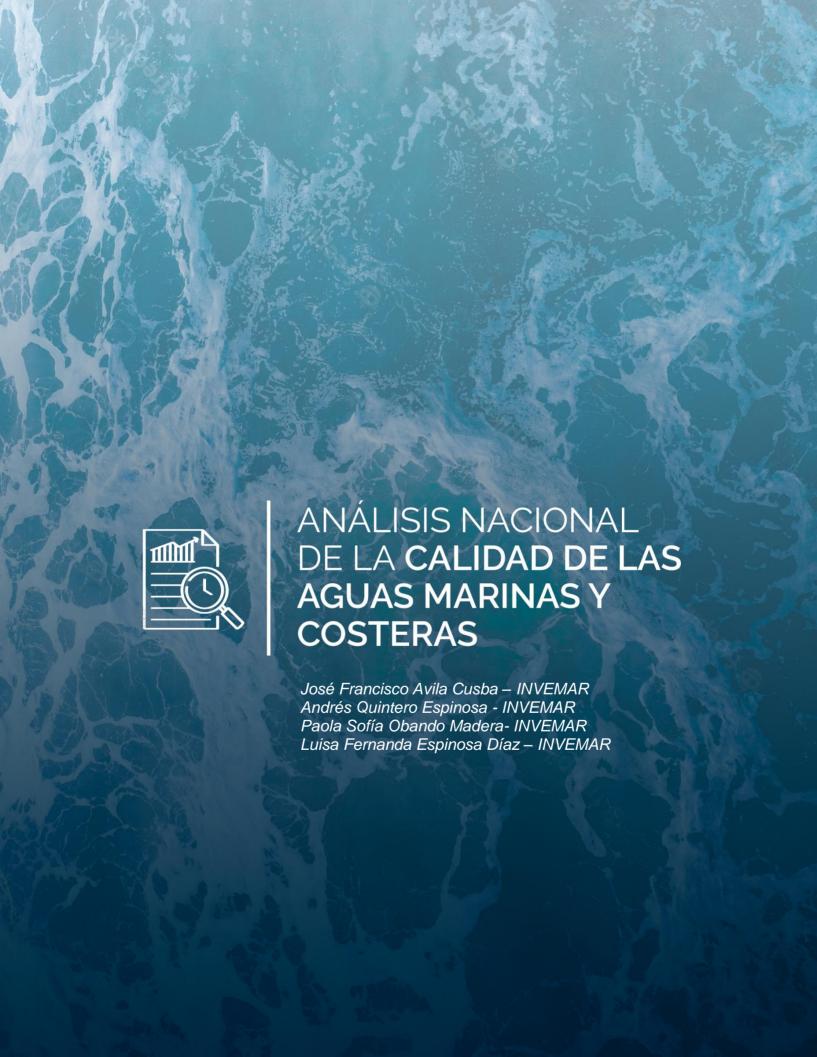
El análisis de calidad de las aguas para uso recreativo se basó en los datos históricos y el nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) teniendo en cuenta los valores de referencia para el uso recreativo del agua (CTE <200 NMP/100 mL) (CTT <1.000 NMP/100 mL) establecidos por el Decreto 1076 de 2015 (Minambiente, 2015); y Enterococos Fecales (EFE) (EFE <100 UFC/100 mL) valor propuesto por la Directiva 2006/7/EC del Parlamento Europeo (Unión Europea, 2006), 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/100 mL), CTT (NMP/100 mL) y EFE (UFC/100 mL) fueron transformados a valores dicotómicos (0 = no cumple con el límite permisible; 1 = cumple con el límite permisible). Posteriormente fue calculado el porcentaje de cumplimiento por estación y año (Ecuación 2).

El nivel de cumplimiento fue estimado a través de una escala de valoración establecida por rangos porcentuales (Tabla 3-7). Los porcentajes de concentración fueron representados en un mapa de calor usando la librería "gaplot2" para el software R (R Core Team, 2012). A su vez, los valores de concentraciones de CTE, CTT y EFE, fueron transformadas a log(x+1) y llevados a un diagrama boxplot para representar la distribución de los datos.

Tabla 3-7. Escalas del nivel de cumplimiento de concentraciones de Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totales y Enterococos Fecales para el uso recreativo de aguas.

Nivel de cumplimiento					
Bajo	Medio	Alto			
Menos del 50% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplen con el límite permisible (CTE<200 NMP/100 mL), (CTT<1.000 NMP/100 mL) y (EFE<100 UFC/100 mL).	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/100 mL), (CTT<1.000 NMP/100 mL) y (EFE<100 UFC/100 mL).	registradas anualmente en una estación cumplen con el límite permisible (CTE<200 NMP/100 ml.) (CTE<1 000 NMP/100 ml.) (CTE<1 000 NMP/100 ml.) (CTE			

La granulometría de los sedimentos se calculó a través del software de versión libre en Excel GRADISTAT (<u>Blott y Pye, 2001</u>), mediante el cual se estimó el tamaño promedio de partícula de los sedimentos y su clasificación utilizando el método de <u>Folk y Ward (1957)</u>. Adicionalmente, se estimaron las concentraciones máximas de metales totales por estación y año, representando los valores por medio de gráficos de barras; y se determinó la contaminación por microplásticos en playas, comparando el estado de contaminación de las estaciones de muestreo de la REDCAM con otras playas turísticas.



# 4. ANÁLISIS NACIONAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS

Con el fin de generar un contexto histórico, se llevó a cabo un análisis de la década de información robusta recolectada entre los años 2010 al 2021, teniendo en cuenta la incidencia de variaciones climáticas por fenómenos de La Niña y El Niño, y las tendencias y presencia de fuentes de contaminación en el Caribe y Pacífico colombianos.

# 4.1 CONTEXTO GENERAL DE LA INFLUENCIA DE LOS FENOMENOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA EN LAS CONDICIONES DE CALIDAD DEL AGUA EN EL CARIBE Y PACIFÍCO COLOMBIANO

La relación de la calidad del agua con los fenómenos El Niño y La Niña, así como con la estacionalidad climática (época seca y época lluviosa), debidos al efecto del nivel de precipitación sobre el aumento de los aportes de agua de los ríos y escorrentías que promueven la difusión, dilución y transporte de efluentes y contaminantes han sido previamente descritos (Costa et al., 2018). En la Figura 4-1 se muestran los años donde se presenta una disminución de las temperaturas superficial del mar (anomalías negativas), los cuales son propensos a mostrar un aumento en la precipitación o efecto de La Niña, esto para el caso del litoral Caribe Colombiano. Las tendencias muestran periodos entre 2010 y 2013; con características de un aumento en las precipitaciones intensas que sobrepasan las cifras normales, y entre 2016 y 2018 con características de precipitaciones normales.

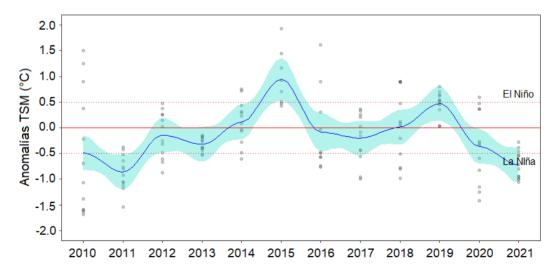


Figura 4-1. Diagrama de tendencia del índice Niño oceánico (ONI) entre 2010 y 2021. La línea azul determina la tendencia multianual. Cuando los valores están por encima de cero se tiende a un periodo de El Niño, si es menor a cero el fenómeno se asocia a La Niña. Fuente: NOAA, 2022 e IDEAM, 2022



Los cambios en los caudales de los principales ríos que desembocan en las zonas costeras del Caribe colombiano son resultado de las variaciones en la precipitación, que son influenciadas por la condición de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y sus fases calentamiento extremo (El Niño) y enfriamiento extremo (La Niña). La disminución paulatina de la TSM observada en 2016 (Figura 4-1), está relacionada con el aumento de las precipitaciones a nivel regional y, por tanto, un aumento en el nivel del caudal de los Ríos Ranchería (La Guajira), Palomino (La Guajira/Magdalena), Magdalena (Magdalena/Atlántico), "Canal del Dique" (Bolívar), Sinú (Córdoba), Mulatos (Antioquia) y Atrato (Antioquia/Chocó) (Figura 4-2). Caso contrario para los años 2014, 2015, 2016, donde se evidenció un aumento en las anomalías de la temperatura superficial del mar, a su vez, una disminución en las precipitaciones medias anuales con la consecuente disminución de caudales en los principales ríos que desembocan en el mar Caribe colombiano (Figura 4-2).

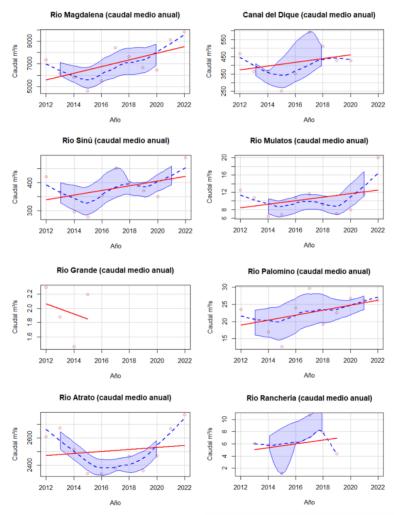


Figura 4-2. Diagramas de dispersión para los caudales medio anuales (2012-2022) de ocho de los ríos más importantes en el Litoral Caribe colombiano. Los valores de caudal están dados en m³/s. La información de caudales multianuales fue tomada del IDEAM, se puede consultar desde:

http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/

En el litoral Pacífico colombiano se contó con información de caudales multianuales en cinco ríos: río Anchicayá (Valle del Cauca), río Calima como brazo del río San Juan (Valle del Cauca), río Guapi (Cauca), río Micay (Cauca) y río Mira (Nariño) (Figura 4-3). El comportamiento de los caudales a lo largo de los trece años fue muy parecido a lo encontrado en la Región Caribe, siendo el río Anchicayá el que cuenta con un aumento más marcado a lo largo del tiempo, con el mayor caudal medio registrado en el año 2022 (128 m³/s). El río Calima cuenta con registros de caudal hasta el año 2020; con una tendencia a la disminución, principalmente porque en el año 2011, año en el que se presentó el fenómeno de La Niña más fuerte en los últimos años, el caudal aumentó a 429,4 m³/s, (Figura 4-1). El río Guapi contó con dos picos de caudal, en el año 2011 (126,8 m³/s) y en el 2021 (125,9 m³/s), con una tendencia al aumento. Igualmente, para el río Micay se encontró una tendencia al aumento a lo largo del tiempo, con un pico en el año 2022 de 805,2 m³/s. Finalmente, el río Mira en Nariño presentó un comportamiento acorde a los valores ONI, teniendo su pico de caudal en el año 2021 con 1067,5 m³/s.

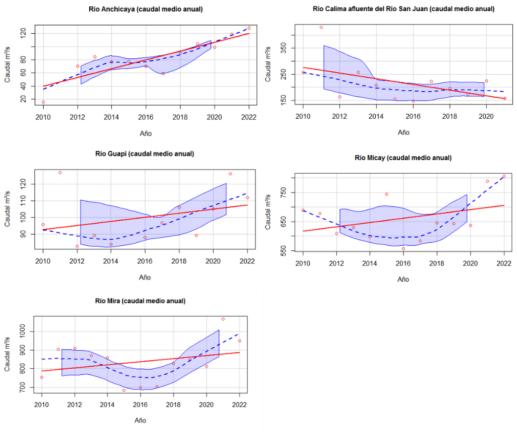


Figura 4-3. Diagramas de dispersión para los caudales medio anuales (2010-2022) de seis de los ríos más importantes en el Litoral Pacífico colombiano. Los valores de caudal están dados en m³/s. La información de caudales multianuales fue tomada del IDEAM, se puede consultar desde:

http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/.



El comportamiento multianual del Índice Niño Oceánico (ONI), los niveles de caudales y el conjunto de variables fisicoquímicas, permitió obtener un patrón de relación entre la calidad ambiental con respecto a la influencia del aumento de los niveles de precipitación en el Caribe y Pacífico colombiano. En ambas regiones, las concentraciones de nutrientes, CTE, valores de turbidez y Sólidos Suspendidos Totales (SST) se relacionan en sentido inverso con el ONI, en otras palabras, a medida que las anomalías ONI son negativas (mayor precipitación), se observa un aumento en los valores de estas variables (Figura 4-4).

En las zonas cercanos a las desembocaduras de los ríos, se observan valores altos de turbidez y SST; así como altas concentraciones de coliformes y nutrientes, presentando correlaciones positivas (R>0,40) y estadísticamente significativas (Figura 4-4). Estos resultados muestran que existe una influencia de los ríos en conjunto con el aumento de las precipitaciones sobre la variación de la calidad de las aguas.

Por otra parte, se evidenciaron correlaciones inversas entre el grupo de variables (nutrientes, CTE, turbidez y SST) con respecto al oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y pH, tanto en la región Caribe y Pacífico (Figura 4-4). Las aguas con valores bajos de oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y pH, podrían ser indicadoras del aumento de nutrientes y coliformes, lo cual dependiendo de sus concentraciones podría afectar la preservación de flora y fauna.

Este comportamiento generalmente es consecuencia de actividades antrópicas como el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento y el uso de compuestos orgánicos que dan origen a la sobrecarga de nutrientes y conlleva a la proliferación de algas y otras plantas acuáticas (O'Hare et al., 2018), que por su actividad biológica pueden generar un agotamiento del oxígeno disuelto. Por otra parte, el aumento de la concentración de CO2 en la atmósfera debido a la actividad antropogénica, así como descomposición de la materia orgánica, generan un aumento de la concentración de ácido carbónico en el agua que puede tener un impacto de acidificación, con mayor influencia en cuerpos hídricos semicerrados o cerrados.

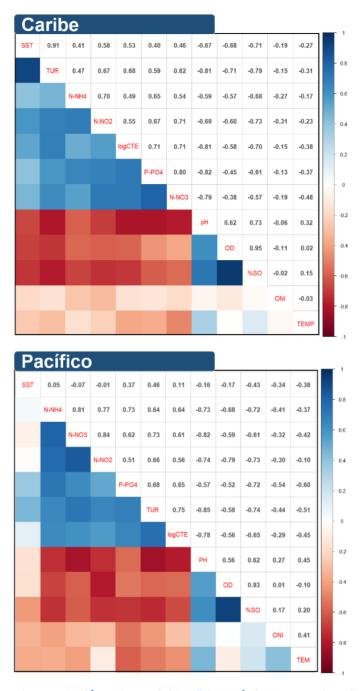


Figura 4-4. Coeficientes de correlación entre variables fisicoquímicas y eventos climáticos regionales de gran escala (ONI), obtenida entre 2010 y 2019, en las estaciones REDCAM distribuidas en el Caribe y Pacífico colombiano.

A partir del análisis de autocorrelación espacial se logró determinar patrones y con ello entender las variaciones de la calidad ambiental marina en las zonas costeras con influencias de los ríos. La matriz de contigüidad se construyó mediante criterios de distancia a los deltas de seis ríos principales distribuidos a lo largo del Caribe: Río León, Río Atrato, Río Sinú, Canal del Dique, Río Magdalena y Río Ranchería. Para evitar relaciones espaciales a largas distancias que no son realmente significativas, se estableció un límite de relación de 10 km dentro de los cuales los resultados podrían ser



espacialmente representativos. Los resultados se representaron con valores en un rango de menos uno (-1) a uno (1), en donde se establecen patrones dispersos y agrupados respectivamente; valores cercanos a cero corresponden a ausencia de correlación y, por tanto, son estaciones con "No Significancia" (Figura 4-5).

Las variables fisicoquímicas salinidad, turbidez, CTE y SST, presentaron una lógica espacial, siendo la salinidad la única que disminuye su concentración entre más cerca esté de los ríos (High-Low). La variable con el índice más alto fue la turbidez (-0,258), esto quiere decir que las aguas litorales son más turbias a medida que se acercan a los deltas analizados (Figura 4-5).

Los CTE presentaron un l' de Moran negativo (-0,107), con un particular agrupamiento en la desembocadura del Río Magdalena en la ciudad de Barranquilla. En el Golfo de Morrosquillo, el comportamiento es bajo – bajo (Low – Low), traducido en bajos valores de coliformes a distancias cortas al delta del río Sinú.

La autocorrelación espacial bivariada para los SST muestra valores altos respecto al río Magdalena y el Golfo de Urabá (-0,184), cerca al municipio de Turbo en el departamento de Antioquia; y valores bajos a cortas distancias en el Golfo de Morrosquillo y en la bahía de la ciudad de Cartagena; este mismo comportamiento lo tuvo la turbidez, pero más marcado en el l' de Moran con -0,258.

Los resultados de autocorrelación espacial local para los nutrientes arrojaron en su mayoría comportamientos dispersos (menores a cero); esto indica que los valores de nutrientes entre menos distancia tengan a los deltas de los ríos mayor será su concentración media (entendido Low-High para el l' de Moran). Las dos variables que presentaron un comportamiento más aleatorio (cercano a cero) fueron los nitritos ( $NO_2^-$ ) con l' Moran de 0,021 y los fosfatos ( $PO_4^{3-}$ ) con -0,056, siendo éstos los menos explicados respecto a su cercanía a los seis ríos analizados (Figura 4-6). Los valores altos de nitritos tienden a concentrarse más cercanos a la desembocadura del río Magdalena, para los fosfatos no se identifica una relación parecida, pero si se identifica en el Golfo de Morrosquillo, con concentraciones bajas a pesar de estar cerca al río Sinú.

El amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) presenta un índice de -0,253 lo que se refleja en los considerables aumentos respecto a su cercanía al río Magdalena en el departamento de Atlántico y al Canal del Dique en el departamento de Bolívar.

Para los nitratos (NO<sub>3</sub>-) se obtuvo un índice de -0,252. Las zonas con mayor influencia espacial de los ríos son el río Magdalena cerca de Barranquilla, el Canal del Dique en la Bahía de Cartagena, y los ríos León y Atrato en el Golfo de Urabá. En estas zonas se identificaron valores altos de nitratos entre más cercano se encontraban a los ríos. Un resultado particular de esta variable se observó en Cartagena, donde desde el otro lado de la ciudad los valores se vuelven bajos – bajos (Low – Low), cerca de la Boquilla y Manzanillo del Mar. Es decir, valores bajos, pero aun así cercanos al costado opuesto de la desembocadura del Canal del Dique. El resultado puede responder al régimen de corriente y oleaje en las zonas que arrastran el agua fluvial.

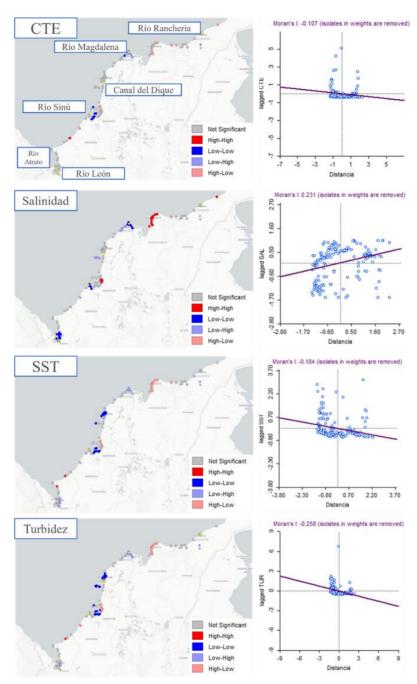


Figura 4-5. Análisis de indicadores de autocorrelación espacial local – LISA mediante método de l'Moran bivariado para cuatro variables físico/químicas indicadoras de la calidad del agua marina. Corresponden a resultado entre las distancias euclidianas de los seis deltas (puntos en amarillos) y el valor multianual de cada variable (2010-2019). Los valores cercanos a uno (1) comprenden un patrón agrupado y menos uno (-1) a un patrón disperso, cero (0) corresponde a ausencia de correlación espacial o "No Significancia".



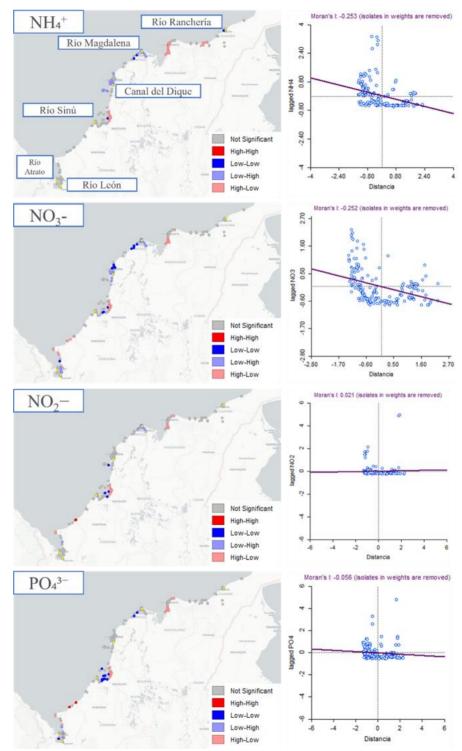


Figura 4-6. Análisis de indicadores de autocorrelación espacial local – LISA mediante método de l'Moran bivariado para cuatro variables indicadoras de la calidad del agua marina, particularmente nutrientes. Corresponden a resultado entre las distancias euclidianas de los seis deltas (puntos en amarillos) y el valor multianual de cada variable (2010-2019). Los valores cercanos a uno (1) comprenden un patrón agrupado y menos uno (-1) a un patrón disperso, cero (0) corresponde a ausencia de correlación espacial o "No Significancia".

El mismo proceso se realizó para el litoral Pacífico colombiano, tomando la desembocadura de seis ríos principales: Río San Juan, río Anchicayá, río Guapi, río Micay, río Patía y río Mira. El departamento de Chocó no se incluyó en el análisis por falta de información oficial de caudales en la zona, además de la alta dispersión espacial que presentan las estaciones en esta parte del litoral.

En el litoral Pacífico, no se identificaron autocorrelaciones significativas dispersas o agrupadas debido a que el Pacífico es particularmente deltaico por sus altos niveles de precipitación media anual y mayores aportes fluviales que en la región Caribe, por lo cual, muchas variables tienden a mantener un comportamiento similar en todas las ubicaciones.

Los CTE arrojaron un l' de Moran de 0,051 (sin correlación espacial) respecto a sus distancias a los seis deltas. Por tanto, no se identifica ninguna de las estaciones REDCAM en un color diferente al gris (Figura 4-7).

La salinidad, contó con un valor de -0,048 como índice de correlación, igualmente no es representativo a nivel regional, pero si se identifica a la Bahía de Buenaventuras como una zona con valores de salinidad bajos por tener una buena distancia al río Anchicayá.

En cuanto a los SST y la turbidez se presentaron los resultados de correlación más bajos, -0,041 y - 0,007 respectivamente. Por tanto, estas dos variables no muestran una relación espacial directa con los deltas de los seis ríos.

El amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) es la variable con un índice más alto (0,162), es decir, tiene un comportamiento leve a la agrupación espacial, presentando dos agrupaciones bajas en distancias, cerca al municipio de Tumaco y cerca al municipio de Guapi (Figura 4-8) que son estaciones cuyos valores son bajos a pesar de estar cerca a los deltas analizados; y una agrupación alta-alta en la Bahía de Buenaventura. Esto quiere decir que las estaciones REDCAM dentro de la bahía tienen niveles de amonio alto a pesar de la distancia que tengan a los ríos.

Los nitritos y nitratos contaron con índices muy cercanos a cero (-0,019, 0,069), se presenta una acumulación de valores bajos de nitratos a cortas distancias del río Guapi y Micay, en las inmediaciones del municipio de Timbiquí. Los nitritos presentaron una agrupación de correlaciones altas en las estaciones ubicadas a las afueras de la Bahía de Buenaventura, cerca del emisario submarino.

Los fosfatos ( $PO_4^{3-}$ ) tuvieron ausencia de correlación espacial respecto a los ríos (0,025). El diferenciado comportamiento de los resultados de la región Pacífica respecto al Caribe colombiano se puede deber a la alta presencia fluvial a lo largo de todo el Pacífico colombiano, esto hace que las condiciones deltaicas sean uniformes a lo largo de la línea costera convirtiéndose en una condición homogénea mas no como fenómenos de impacto puntual como bien podría tratarse del río Magdalena, Atrato o Canal del Dique en el Caribe, siendo estos últimos intervenidos a lo largo de todas sus cuencas.



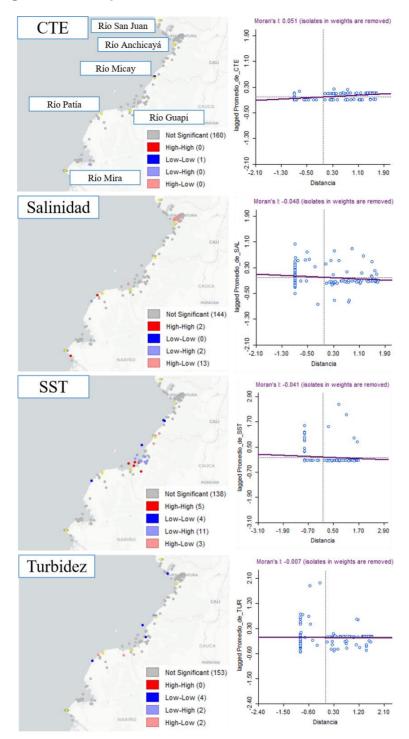


Figura 4-7. Análisis de indicadores de autocorrelación espacial local – LISA mediante método de l'Moran bivariado para cuatro variables físico/químicas indicadoras de la calidad del agua marina. Corresponden a resultado entre las distancias euclidianas de los seis deltas (puntos en amarillos) y el valor multianual de cada variable (2010-2019). Los valores cercanos a uno (1) comprenden un patrón agrupado y menos uno (-1) a un patrón disperso, cero (0) corresponde a ausencia de correlación espacial o "No Significancia".

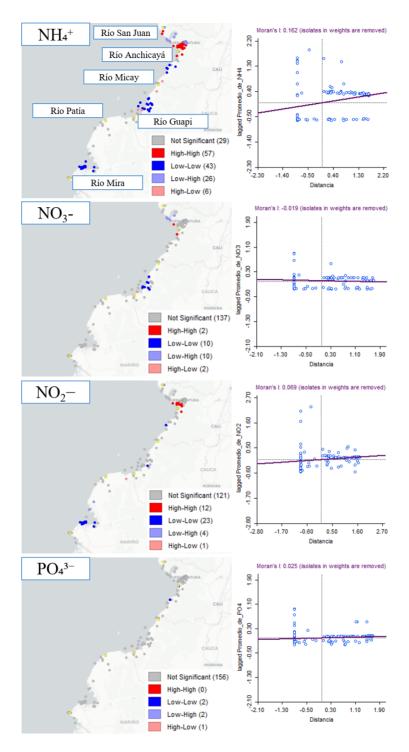


Figura 4-8. Análisis de indicadores de autocorrelación espacial local – LISA mediante método de l'Moran bivariado para cuatro variables físico/químicas (amonio, nitratos, nitritos y fosfatos) indicadoras de la calidad del agua marina. Corresponden a resultado entre las distancias euclidianas de los seis deltas (puntos en amarillos) y el valor multianual de cada variable (2010-2019). Los valores cercanos a uno (1) comprenden un patrón agrupado y menos uno (-1) a un patrón disperso, cero (0) corresponde a ausencia de correlación espacial o "No Significancia".



# 4.2 ¿CÓMO HA SIDO LA TENDENCIA DE LAS CONDICIONES DE CALIDAD DE AGUAS EN EL CARIBE Y PACÍFICO COLOMBIANO?

Con el propósito de evaluar e interpretar las variaciones de la calidad del agua superficial marina y costera en las estaciones de muestreo REDCAM, se estimó el Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras para la preservación de flora y fauna - ICAMPFF. Para la interpretación de los resultados históricos del ICAMPFF se consideraron los momentos de los muestreos, las épocas climáticas, las condiciones de marea, los accidentes geográficos y la ubicación de las estaciones. En este capítulo se presenta una síntesis histórica (2001-2022) del ICAMPFF a escala nacional.

En el análisis histórico entre 2001 y 2022 (Figura 4-9) se observaron cambios constantes en la calidad del agua marina y costera, con una alta variabilidad de los valores del ICAM<sub>PFF</sub>, que oscilaron entre una pésima y <sub>óptima</sub> calidad. Para el 2022, se presentaron diferencias entre las cinco categorías con una tendencia a la reducción de condiciones en categoría adecuada y óptima, y en consecuencia un incremento en la proporción de calidad inadecuada y aceptable (Figura 4-9).

A escala nacional, la calidad del agua marina y costera para el uso de preservación de flora y fauna en las estaciones de muestreo evaluadas en el año 2022, estuvo entre óptima y pésima calidad. Comparando estos resultados con los últimos cinco años (sin considerar el año 2020 que fue un muestreo atípico por la Pandemia del Covid-19), se observó a manera general una tendencia a la disminución de estaciones con mejor calidad del agua marina y costera (óptima y adecuada), pasando de 66,1% en 2018 a 52,4% en 2019 y 45,7% en 2021 a 58,3% en 2022. Las estaciones con peor calidad (pésima e inadecuada) han venido aumentando; en 2018 había un 16,6%, en 2019 un 21,4%, en 2021 un 26,9%, y en 2022 un 25,0%, debido al aumento de la proporción de sitios con pésima calidad.

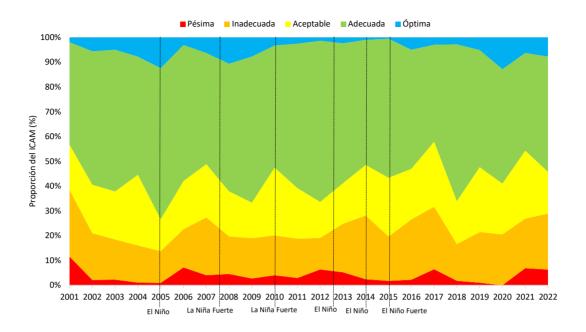


Figura 4-9. Evolución histórica del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM<sub>PFF</sub>) en el periodo 2001 a 2022. Las líneas transversales negras indican años con una incidencia del evento El Niño y La Niña según NOAA (2022).

Para comprender con mayor detalle las variaciones históricas de la calidad del agua, se presenta un análisis detallado para la última década, solo considerando la información hasta el año 2019, ya que los años 2020 y 2021, tuvieron un muestreo atípico por la pandemia del Covid-19. Esta información representa un punto de referencia al comparativo histórico del monitoreo, que retomó su dinámica sin pandemia en el año 2022.

#### 4.2.1 Caribe colombiano:

En el Caribe colombiano las variables fisicoquímicas de las aguas marino costeras presentan cambios a escala espacial, las tendencias de la salinidad, SST, turbidez y concentraciones de CTE (Figura 4-10), así como las concentraciones de algunos nutrientes (Figura 4-11), muestran variaciones marcadas hacia el sur, centro y norte.

Las aguas del Caribe colombiano tienen tendencias de pH que no superan los límites establecidos para la preservación de flora y fauna (limite permisible de 6,5 – 8,5 pH para aguas marina y estuarina) (Figura 4-10B).

El oxígeno disuelto, en la mayoría de estaciones distribuidas en todo el litoral. presenta valores por encima de 4 mg/L (limite permisible mayor a 4 mg/L de OD), no obstante, se observan algunos grupos de estaciones con concentraciones de oxígeno disuelto por debajo de 4 mg/L (Figura 4-10A), distribuidas entre longitudes -74,5°W y -75,0°W; -75,5°W y -76,0; -76,5 °W y -77,0°W, que corresponden a las zonas costeras entre la Ciénaga Grande de Santa Marta y Puerto Colombia en Atlántico; entre Punta Canoa en Bolívar y Moñitos en Córdoba y finalmente la zona costera del departamento de Antioquia.



Por otra parte, se evidenció que los valores de salinidad tienden al aumento de sur a norte (Figura 4-10C). Las estaciones distribuidas hacia el sur del Caribe (entre -76,0°W y -77,0°W) en su mayoría tienen valores de salinidad correspondientes a aguas estuarina y dulce, debido a la alta influencia de la hidrodinámica del río Atrato y otros ríos de menor cauce que desembocan en las costas del departamento de Antioquia (Ricaurte-Villota & Bastidas, 2017). Por el contrario, en la zona norte del país (entre -73,0°W y -72,0°W) los valores de salinidad son altos, lo cual es evidente en la zona debido a las anomalías presentes en las distribuciones superficiales producto de los fenómenos de surgencias (Fajardo, 1979; Gaspar & Acero, 2020).

Las mayores concentraciones de SST de hasta 80 mg/L aproximadamente (Figura 4-10 F), y de turbidez 40 NTU (Figura 4-10 G), fueron observadas en diferentes zonas de la línea costera del Caribe (Figura 4-10 F y G). La primera ubicada en la costa noreste, entre Palomino y Manaure, la cual cuenta con la presencia de ríos importantes como Palomino, Ancho, Tapias y Ranchería; la segunda zona, entre las costas frente a la Ciénaga Grande de Santa Marta y Cartagena de Indias, donde se encuentra la desembocadura del río Magdalena (Boca de ceniza) y el canal del dique, y finalmente una tercera zona hacia el suroccidente, con la presencia del río Sinú y Atrato.

El mismo comportamiento se registró para las concentraciones de CTE (Figura 4-10 H). Las relaciones de estos incrementos en las zonas anteriormente mencionadas indicarían un aumento de aportes orgánicos provenientes aportados por los ríos, los cuales influyen en la variación de la calidad de las aguas marino costeras, mostrando indicios de contaminación en estas zonas.

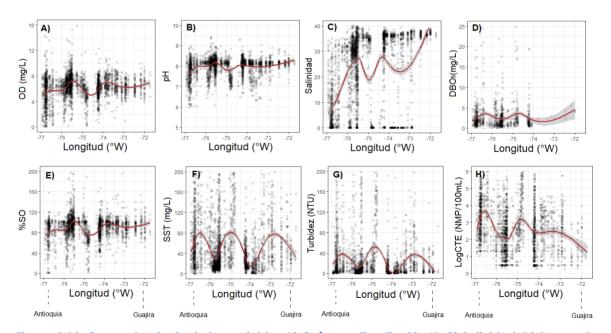


Figura 4-10. Comportamiento de las variables A) Oxígeno disuelto; B) pH; C) Salinidad; D) Demanda Bioquímica de Oxígeno; E) Saturación de Oxígeno; F) Sólidos Suspendidos Totales; G) Turbidez y H) Coliformes Termotolerantes en las estaciones REDCAM del Caribe colombiano, muestreadas entre los años 2010 y 2019. Las líneas rojas representan la tendencia estimada mediante GAM. La línea color rojo representa la tendencia histórica estimada con GAM.

Los nutrientes evaluados muestran una tendencia a aumentar su concentración en aguas superficiales ubicadas hacia el sur del Caribe colombiano, específicamente en el departamento de Antioquia y una disminución de las concentraciones hacia la zona norte, departamento de La Guajira. El promedio de concentraciones de fosfato ( $PO_4^{3-}$ ) y amonio ( $NH_4^+$ ) alcanzó los 200 µg/L (Figura 4-11A y B). Mientras que, los valores promedios de nitrato ( $NO_3^-$ ) fueron superiores a 40 µg/L (Figura 4-11C).

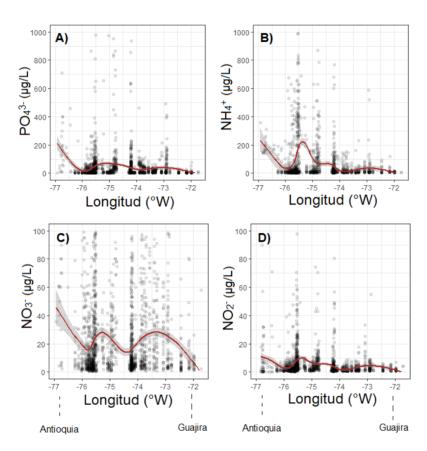


Figura 4-11. Comportamiento de la concentración de nutrientes en el agua superficial del Caribe colombiano, en las estaciones REDCAM muestreadas entre los años 2010 y 2019. La línea color rojo representa la tendencia histórica estimada con GAM

El aumento de las concentraciones de nutrientes hacia el sur del Caribe reafirma que los aportes continentales son forzantes para las zonas costeras (Ricaurte-Villota & Bastidas-Salamanca, 2017). Esta zona está influenciada por la descarga de aguas provenientes de los ríos Atrato, León, Turbo y Sinú, los cuales llevan consigo una carga de nutrientes derivados del continente. Por otra parte, se evidencia una disminución de estos nutrientes en las aguas marino-costeras en sentido sur-norte, con bajas concentraciones hacia La Guajira (Figura 4-11). Se ha demostrado que no existe un aporte directo de nutrientes (nitrato) asociado a las surgencias (Ricaurte-Villota & Bastidas-Salamanca, 2017), sin embargo, es posible que la pluma del Magdalena llegue



hasta estas zonas, razón por la cual se observa una leve señal a nivel subsuperficial de estos nutrientes en las aguas de La Guajira (Murcia-Riaño et al., 2017).

#### 4.2.2 Pacífico colombiano:

Para el pacífico se evidenciaron valores promedio de oxígeno disuelto alrededor de los 6 mg/L, sin embargo, en la década analizada, en las estaciones ubicadas entre las latitudes 1,8 °N y 3,8 °N correspondientes a la zona costera de Tumaco y Buenaventura respectivamente, se observaron registros menores al valor mínimo permisible establecido por la normativa colombiana para la preservación de flora y fauna (4 mg/L, decreto No. 1594 de 1984; Figura 4-12A).

En general las aguas marino costeras del Pacífico colombiano presentan en promedio valores de pH que no superan los límites establecidos para la preservación de flora y fauna (6,5 – 8,5 pH para aguas marina y estuarina, decreto No. 1594 de 1984.) (Figura 4-12B). Sin embargo, se observaron algunos registros de pH fuera de este rango, valores menores a 6,5 y mayores a 8,5, en las zonas cercanas a Buenaventura ( $\sim$  3,8 °N), Timbiquí ( $\sim$  2,8°N) y Tumaco ( $\sim$ 1,8 °N), los cuales son efecto de la descarga de contaminantes industriales, agrícolas y domésticos (<u>IIAP, 2013; Barbosa-Hurtado, 2018</u>) que afectan el equilibrio químico y alteran el pH del agua.

Lo valores de salinidad en el agua superficial del Pacífico presentan una variación a lo largo de la costa, influenciados por las precipitaciones y la presencia de agua dulce de los más de 56 ríos que desembocan en estas zonas (INVEMAR, 2019). Las estaciones distribuidas entre latitud 1 y 6°N presentan salinidades promedio que se encuentran entre los rangos de agua dulce, estuarinas y marinas (Knox, 2001; Figura 4-12C).

Por otra parte, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) no parece presentar valores anómalos de acuerdo a la tendencia encontrada en la Figura 4-12D, se observó en el periodo evaluado registros entre 0,03 mg/L y 10 mg/L, con una tendencia que muestra un rango de valores promedios entre 1 y 3 mg/L en las aguas superficiales, lo que indica aguas no contaminadas con base a los niveles establecidos por CONAGUA (2015) para este parámetro.

Las mayores concentraciones de SST se encontraron en la zona sur del pacífico colombiano (Figura 4-12F), en cercanías a la línea costera de Tumaco y el DNMI Cabo manglares Bajo Mira y Frontera en Nariño, los cuales mostraron valores promedio de hasta 60 mg/L aproximadamente. Estos registros se relacionan directamente con la alta representatividad que tiene el departamento de Nariño en la Macrocuenca o áreas hidrográficas del pacífico (IIAP, 2013). Las aguas marino costeras de los departamentos de Chocó, Valle del Cauca y Cauca mostraron tendencias de SST similares, con valores promedios cerca de 40 mg/L. Lo mayores registros de turbidez, se registraron al occidente del Valle del Cauca (~ 3,8 °N) (Figura 4-12G), zona en la cual desembocan grandes ríos como San Juan, Dagua y Anchicayá que arrastran cantidades considerables de sedimentos orgánicos e inorgánicos provenientes de la cuenca alta donde se llevan a cabo actividades antrópicas, que finalmente causan alto grado de turbidez en estas aguas (IIAP, 2013). A pesar de lo descrito anteriormente, se evidencian tendencias de turbidez y SST muy similares a lo largo de todo el Pacífico colombiano, donde los aumentos de estas dos variables se dan en lugares con grandes influencias

de ríos como el San Juan, Baudó, Dagua, Anchicayá, Naya, Micay, Timbiquí, Guapi y Mira.

Las concentraciones de CTE (Figura 4-12H) mostraron incrementos en las zonas costeras ubicadas entre la desembocadura del río Mira y Tumaco, entre el río Patía y Guapi en el Cauca, entre el estero Brazo Largo (Buenaventura) y Boca de San Juan en el Valle del Cauca, y finalmente en el departamento de Chocó frente a Nuquí y Bahía Solano; con concentraciones promedio que oscilan entre los 330 y 3500 NMP/100 mL (2,5 y 3,5 log CTE), valores que están por encima de los límites permisibles, establecidos en la legislación nacional (CTE <200 NMP/100 mL; Minambiente, 2015). Estas concentraciones se relacionan con aguas adyacentes a las poblaciones costeras y residuos domésticos vertidos en los cauces de los ríos.

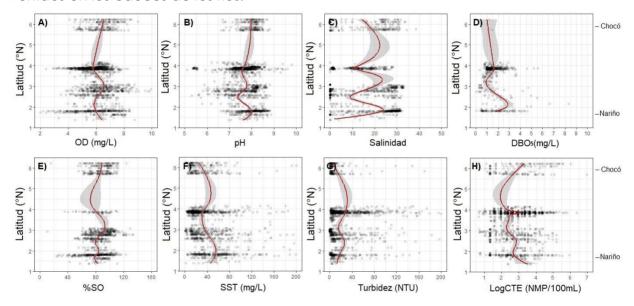


Figura 4-12. Comportamiento de las variables A) Oxígeno disuelto; B) pH; C) Salinidad; D) Demanda Bioquímica de Oxígeno; E) Saturación de Oxígeno; F) Sólidos Suspendidos Totales; G) Turbidez y H) Coliformes Termotolerantes en las estaciones REDCAM del Pacífico colombiano, muestreadas entre los años 2010 y 2019. Las líneas rojas representan la tendencia estimada mediante GAM. La línea color rojo representa la tendencia histórica estimada con GAM.

Los nutrientes inorgánicos disueltos, fosfatos ( $PO_4^{3-}$ ), amonio ( $NH_4^+$ ), nitratos ( $NO_3^-$ ) y nitritos ( $NO_2^-$ ), mostraron tendencias de aumento en aguas costeras de la zona central del pacífico colombiano, entre latitudes 3,0°N y 4,5°N (Figura 4-13), correspondiente al departamento del Valle del Cauca. En esta zona las concentraciones de fosfatos y nitritos alcanzaron un valor promedio de 25  $\mu$ g/L (Figura 4-13 A y D), el valor promedio de amonio fue de 100  $\mu$ g/L y el de nitratos de 750  $\mu$ g/L aproximadamente (Figura 4-13 B y C). Según la NOAA (1994) la concentración de de nitratos en el agua superficial para el Pacífico Ecuatorial pueden llegar hasta 22  $\mu$ g  $NO_3^-$ /L, valor que es sobrepasado en las estaciones del departamento del Cauca para el periodo evaluado (2010-2019), indicando que estas aguas están contaminadas con este nutriente.

Generalmente los ríos son fuentes naturales de nitratos debido a los procesos de degradación de materia orgánica, sin embargo, existen otros factores antropogénicos



presentes en la zona, los cuales han aumentado drásticamente la contaminación acuática, amenazando la calidad del agua y la degradación de los valores culturales y sociales. La descarga de aguas residuales que provienen de la Ensenada de Buenaventura, las actividades industriales (Barbosa-Hurtado, 2018) y residuos producto del uso del suelo que finalmente son arrastrados por los grandes ríos San Juan y Dagua (IIAP, 2013), lo que reafirman que los aportes de aguas continentales y urbanas son los principales forzantes para la zona marino costera del departamento del Valle del Cauca, que aumentan los riesgo de eutrofización y los problema de calidad del agua que genera numerosos impactos negativos.

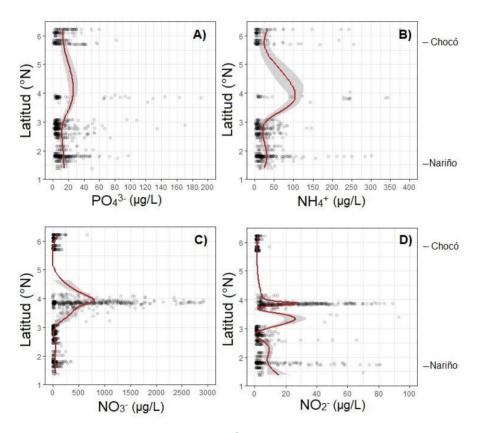


Figura 4-13. Comportamiento de los nutrientes inorgánicos disueltos en las estaciones REDCAM del Pacífico colombiano, muestreadas entre los años 2010 y 2019. La línea color rojo representa la tendencia histórica estimada con GAM

### 4.3 FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Para Colombia los ambientes marinos y costeros del Caribe y Pacífico son el capital natural que sostiene la economía y cultura de las poblaciones costeras del país, por su alta biodiversidad, productividad y servicios ecosistémicos (<u>DNP, 2020</u>).

Tanto en las zonas costeras del Caribe, como en las del Pacífico, un importante factor de degradación ambiental es la contaminación, ocasionada principalmente por el inadecuado tratamiento y disposición de los residuos líquidos y sólidos de las poblaciones costeras y por actividades socioeconómicas que se desarrollan tanto en las zonas costeras como al interior del país. Adicionalmente, accidentes como los derrames de petróleo crudo y de otras sustancias o descargas de residuos de forma intencional o accidental, con planes de contingencia deficientes, contribuyen a esta problemática (INVEMAR et al., 2017).

En el mar Caribe colombiano desembocan cerca de 43 ríos, de los cuales se destacan el Atrato, Sinú, Magdalena y Ranchería por su caudal, extensión y aportes de sedimentos. En las costas del Pacífico, se destacan los ríos San Juan, Micay y Mira, de los más de 56 ríos que allí desembocan (INVEMAR, 2019). A estos cuerpos de agua pueden llegar residuos de diferentes actividades, los cuales pueden contener materia orgánica, nutrientes, hidrocarburos del petróleo, residuos de plaguicidas, metales pesados, microorganismos de origen fecal y residuos plásticos, los cuales finalmente desembocan al mar. Como consecuencia, la calidad de las aguas marinas y costeras en algunas zonas del país se ve deteriorada, limitando los diferentes usos (INVEMAR, 2015; INVEMAR, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario mantener actualizado el registro de fuentes de contaminación, con el fin de conocer la relación de las actividades antrópicas y los resultados de calidad de aqua del territorio marino costero colombiano. Por tanto, durante el año 2022 se llevó a cabo un proceso de verificación de información geográfica, mediante insumos obtenidos a partir de información secundaria disponible por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, la Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH y por información primaria en estaciones georreferenciadas con equipos GPS durante las salidas de campo. Para mantener una misma estructura de tipologías de fuentes de contaminación, se caracterizó la información, dando un total de 36 tipos diferentes (Tabla 4-1). Los departamentos con un aumento significativo de ubicación espacial de las fuentes de contaminación fueron La Guajira, Atlántico, Bolívar, Córdoba y Antioquia. Particularmente en Córdoba, los municipios de San Antero y Los Córdobas, se incluyó la información recolectada en campo con acompañamiento de expertos de las asociaciones comunitarias, alcaldía de San Antero, personal técnico de la CVS, defensa civil, entre otros. En los demás departamentos se incluyó principalmente información de pozos de hidrocarburos y rezumaderos.



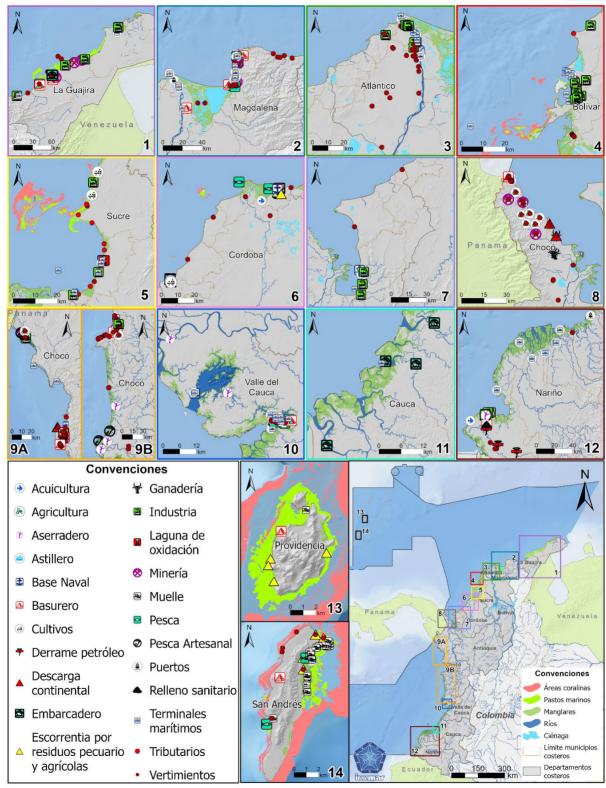


Figura 4-14. Actividades humanas en la zona costera, ecosistemas marinos y costeros y, principales fuentes terrestres y marinas de contaminación a las aguas marinas y costeras de Colombia. Tomado de INVEMAR (2018a).

Tabla 4-1. Tipificación de actividades antrópicas, procesos naturales y fuentes de contaminación identificadas en las zonas marinas y costeras. Estas también serán visibles desde el aplicativo web de la REDCAM: https://siam.invemar.org.co/redcam-geovisor/

FTCM Capa 2022	
Gasolinera	Terminales marítimos
Turismo	Residuos sólidos
Puertos	Relleno sanitario
Basurero	Aserradero
Minería	Cultivos
Lavadero	Porquerizas
Pesca	Escorrentía aguas Iluvias
Industria	Escorrentía por residuos pecuarios y agrícolas
Ganadería	Muelle
Laguna de oxidación	Descarga continental
Tributarios	PTAR
Base Naval	Agricultura
Embarcadero	Centro poblado
Maderera	Tala
Astillero	Pesca Artesanal
Acuicultura	Quema de residuos sólidos
Derrame petróleo	Pozos de hidrocarburos
Vertimientos	Rezumadero

En el Caribe colombiano el Archipiélago de San Andrés y Providencia presenta un modelo de desarrollo basado principalmente en el comercio y el turismo. Esta actividad es una de las principales fuentes de residuos contaminantes que se intensifican por la inadecuada gestión de residuos que realizan las personas, además de las provenientes de actividades domésticas, portuarias y pesqueras, que generan vertimientos de aguas residuales y residuos sólidos.

La Guajira es conocida por su actividad minera y petrolera, reflejándose en el número de pozos de hidrocarburos, zonas de vertimientos, así también un gran número de terminales marítimas. Si bien, las costas de este departamento son amplias, se debe monitorear estas actividades de alto impacto que requieren una adecuada gestión para prevenir afectaciones en la dinámica del sistema marino-costero.

El departamento de Magdalena se destaca por la presencia de vertimientos, terminales marítimos y puertos carboníferos. Si bien este departamento cuenta con zonas protegidas dentro del Parque Nacional Natural Tayrona – PNNT, existen actividades turísticas en playas como, Buritaca y Guachaca que pueden aumentar la presencia de fuentes de contaminación sobre esas zonas marino-costeras. Además de la presencia de vertimientos de aguas residuales en el municipio de Santa Marta.

En la costa del departamento del Atlántico desemboca el río Magdalena, el más caudaloso del Caribe y receptor de aguas residuales domésticas e industriales de las poblaciones del interior del país. Adicional a los aportes del río, las principales actividades fuentes de contaminantes son la minería, los residuos de las actividades agrícolas, pecuarias, industriales, turísticas, marítimas y portuarias, y los residuos de la población (aguas residuales y residuos sólidos).



Bolívar es el departamento con mayor presencia de industrias en la zona marino-costera, se destacan también el número de pozos de hidrocarburos, terminales marítimos, vertimientos y el desarrollo de actividades turísticas.

En Sucre, los pozos de hidrocarburos, el turismo y los terminales marítimos fueron las actividades antrópicas mayormente evidenciadas, que afectan el Golfo de Morrosquillo sobre municipios como Santiago de Tolú y Coveñas.

La zona costera del departamento de Córdoba presenta fuentes de contaminación como residuos de la ganadería, agricultura, acuicultura, turismo, extracción de madera, el cargue de petróleo en el golfo de Morrosquillo, el tránsito de embarcaciones de menor y mayor calado y la pesca.

En Antioquia las principales fuentes de contaminación son los vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento y la inadecuada disposición de residuos sólidos, residuos de la agricultura intensiva, ganadería, comercio, turismo y actividad marítima portuaria. En general la zona marino costera del departamento de Antioquia se encuentra influenciada por los procesos hidrodinámicos del delta del río Atrato y las actividades antropogénicas.

En la región del Pacífico colombiano, el departamento de Chocó se caracteriza por la presencia de diversos factores de contaminación ambiental. Entre ellos, se destacan los vertimientos de aguas residuales y la acumulación de residuos sólidos provenientes de la población costera. Además, la actividad minera, el turismo, así como las actividades agropecuarias y marítimas.

En el departamento del Valle del Cauca predominan las escorrentías agrícolas y de áreas ganaderas, los residuos de la industria pesquera y minera, vertimientos de aguas residuales, los terminales marítimos, siendo considerable el puerto de Buenaventura y el número de muelles turísticos y pesqueros distribuidos en el departamento.

En Cauca las principales fuentes de contaminación marina 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, las escorrentías agrícolas, el aprovechamiento forestal, el turismo y las actividades marítimas como el transporte de embarcaciones con motor.

En Nariño, las fuentes de contaminación que predominan son las aguas residuales domésticas, la inadecuada disposición de residuos sólidos, las escorrentías agrícolas y urbanas, las escorrentías y residuos de la minería, residuos de las actividades portuarias y petroleras, incluidos los derrames de petróleo que son recurrentes en el área, el tránsito de embarcaciones de menor y mayor calado.

#### 4.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Históricamente en términos de pH y oxígeno disuelto, el Caribe ha presentado condiciones de calidad que favorecen la preservación de flora y fauna. Sin embargo, en algunas áreas de los departamentos de Atlántico, Córdoba y Antioquia, se han registrado bajas concentraciones de oxígeno. Además, la presencia creciente de nutrientes (nitrato, fosfato y amonio) y Coliformes Termotolerantes hacía el extremo sur del Caribe, que se atribuyen a la descarga continental a través de los ríos Atrato, León, Turbo y Sinú. Esta evaluación destaca la necesidad de medidas focalizadas a la reducción de la carga de nutrientes y coliformes proveniente de los ríos que reciben vertimientos de zonas urbanas desde la cuenca alta, media y baja, mediante una gestión efectiva de las actividades humanas, con el fin de garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas marinos en la región del Caribe colombiano.
- En el Pacífico colombiano, el oxígeno disuelto y el pH históricamente han estado dentro de los limites adecuados para la preservación de flora y fauna; sin embargo, en áreas cercanas a Timbiquí (Cauca), Buenaventura (Valle del Cauca) y Tumaco (Nariño), se han registrado concentraciones de oxígeno disuelto y valores de pH que generan preocupación en relación a la salud de los ecosistemas marinos. Adicionalmente, es recurrente el aumento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes en las zonas pobladas y, de nutrientes (fosfatos, amonio, nitratos y nitritos) en el departamento del Valle del Cauca. Estas condiciones se deben a las descargas de aguas continentales que reciben aguas residuales, así como de las actividades industriales que tienen un impacto significativo en la contaminación hídrica. Ante este panorama se destaca la necesidad inminente de implementar estrategias para asegurar la salud y resiliencia de los ecosistemas marinos en la región del
- Existe una relación significativa entre los fenómenos climáticos de El Niño y La Niña y la calidad del agua en las regiones del Caribe y Pacífico colombiano. Los cambios en las precipitaciones y dinámica de los ríos, influenciados por estos fenómenos, tuvieron un impacto directo en las variables fisicoquímicas y biológicas, como nutrientes, Coliformes Termotolerantes, turbidez y Sólidos Suspendidos Totales, cuyas concentraciones incrementan a medida que aumentan las precipitaciones, especialmente en zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos. Esta dinámica entre los patrones climáticos y la calidad del agua evidencia la necesidad de alertas tempranas y una gestión adaptativa en respuesta a los eventos de El Niño y La Niña.
- La mayor cantidad de fuentes de contaminación se evidenció en la región Caribe. Los tipos de fuentes de contaminación están asociados a la ocurrencia de vertimientos de aguas residuales y residuos sólidos, y al desarrollo de actividades antrópicas en playas turísticas, terminales marítimos, pozos de hidrocarburos y rezumaderos. La contaminación representa una amenaza para la salud de los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad. Es fundamental implementar estrategias de manejo y conservación adecuadas para proteger los ecosistemas costeros y garantizar un equilibrio ambiental sostenible.



### 5. DEPARTAMENTO 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 playas, 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 proyección de la población humana a 2021 fue de ~64.472 habitantes (DANE, 2021). 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, 2022).

La principal fuente de contaminación del departamento, es la actividad turística, seguido por las actividades domésticas, portuarias y pesqueras, que generan vertimientos de aguas residuales y residuos sólidos que se disponen en los rellenos sanitarios Magic Garden (San Andrés), Blue Lizard (Providencia) y en el ambiente (Figura 4-14) (INVEMAR, 2018).

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 hay mayor 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 Providencia, que abarca las islas de Providencia y Santa Catalina (Figura 5-1).



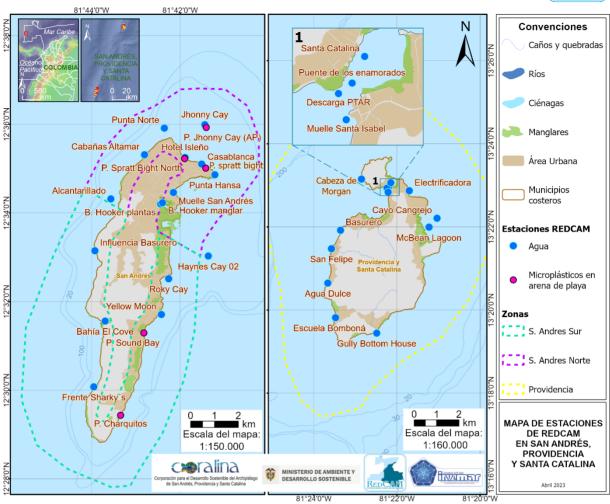


Figura 5-1. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y los puntos bicolores (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimentos superficiales. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

### 5.1 Calidad de aguas marinas y costeras

#### 5.1.1 Calidad de agua para la preservación y protección de flora y fauna

Los registros históricos de salinidad para el período 2001-2021 de las estaciones REDCAM en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, fueron empleados para clasificar el agua según la escala de valores propuesta por Knox (2001), encontrando que por las características propias de un ambiente insular, la mayoría de las estaciones corresponden a agua marina con un rango de variación anual bajo. Las estaciones Bahía Hooker Manglar y Bahía Hooker Plantas han presentado una mayor variabilidad de salinidad, especialmente en la época lluviosa, con 4 casos puntuales que evidencian condiciones de agua estuarina (Figura 5-2). La salinidad en Bahía Hooker es resultado del efecto de los patrones

climáticos, de la hidrodinámica propia de la bahía y de las descargas directas de aguas residuales domésticas (Lonin y Mendoza, 1997; Gavio et al., 2010).

El análisis histórico muestra que la salinidad en el primer semestre (medianas entre 35,4 y 37,0 unidades) es mayor que la salinidad del segundo semestre (medianas entre 33,5 y 35,9 unidades; Figura 5-2). Este comportamiento obedece a las dinámicas del ciclo anual del Caribe colombiano, en donde los pulsos de baja salinidad ocurren a partir del mes de agosto por un aumento de las precipitaciones que tiene máximos en octubre, y por el efecto de las plumas del río Magdalena y otros ríos que drenan el Caribe colombiano, que influyen sobre la formación de un gradiente zonal de baja salinidad que ocupa el este y el sureste del Caribe (<u>Ricaurte-Villota y Bastidas-Salamanca, 2017</u>).

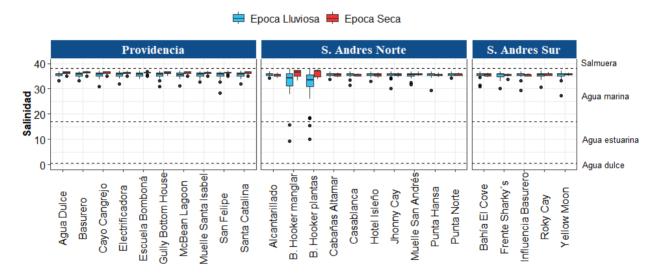


Figura 5-2. Gráfico de caja y bigote con la representación histórica (2001-2021) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, diferenciado por zona de muestreo (Providencia, San Andrés Norte y San Andrés Sur) y entre época climática: 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. 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 estado de la calidad de las aguas en la época lluviosa del año 2021 se evaluó aplicando el Índice de Calidad de Aguas para Preservación de flora y fauna - ICAMPFF (Vivas-Aguas et al., 2014a) (Figura 5-3). La estimación del ICAMPFF se realizó con la información de los muestreos realizados por INVEMAR con acompañamiento de CORALINA en las estaciones "Influencia Basurero", "Bahía Hooker Plantas" y "Bahía Hooker Manglar" en la Isla de San Andrés, y "Agua Dulce" y "Descarga PTAR" en la Isla de Providencia. El ICAMPFF mostró que en el sector sur de la Isla de San Andrés la calidad del agua fue óptima para la preservación de flora y fauna. En esta zona en hay menor presencia de actividades antrópicas, mientras que, en el sector norte, y particularmente en Bahía Hooker la calidad fue aceptable, lo cual se atribuye al carácter cerrado de esta bahía cuyo intercambio de agua con el mar está reducido



a un canal angosto y de poca profundidad, y a la fuerte presión antropogénica derivada de actividades domésticas, turísticas y portuarias (Gavio et al., 2010). En la isla de Providencia la calidad fue adecuada en las 2 estaciones.

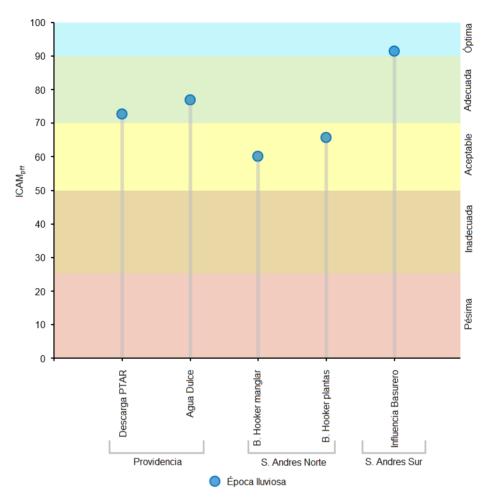


Figura 5-3. Calidad de agua superficial ICAM<sub>PFF</sub> para el año 2021, en estaciones del departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

El Carbono Orgánico Total (COT) es un parámetro fiable para conocer la calidad del agua, su origen es de tipo natural por procesos metabólicos, de excreción y descomposición de plantas, y animales, pero también puede provenir de fuentes de origen antrópico, como actividades domésticas e industriales. Su presencia en un cuerpo de agua demanda consumo de oxígeno disuelto (Shetty y Goyal, 2022). Los resultados de COT en la época lluviosa de 2021 mostraron que el 66 % de los registros, correspondientes a 19 de 29 estaciones, presentaron concentraciones inferiores al límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM del INVEMAR (LCM < 0,50 mg COT/L). El 28%, 8 de las 29 estaciones, presentaron concentraciones inferiores a 1,00 mg COT/L (Figura 5-4). Cabe resaltar que de este grupo las estaciones con mayores concentraciones, tanto en la isla de San Andrés como en la isla de Providencia, tienen mayor influencia de actividades turísticas, comerciales y

portuarias. El 7% restante, correspondiente a 2 estaciones, Bahía Hooker Manglar y Bahía Hooker Plantas, presentaron las concentraciones más altas, 2,47 mg COT/L y 3,23 mg COT/L, respectivamente. Estas dos estaciones ubicadas en Bahía Hooker están rodeadas por los manglares del Parque Regional Old Point, por lo cual estas concentraciones de COT, se atribuyen a los procesos de degradación de materia orgánica presentes en estos ecosistemas.

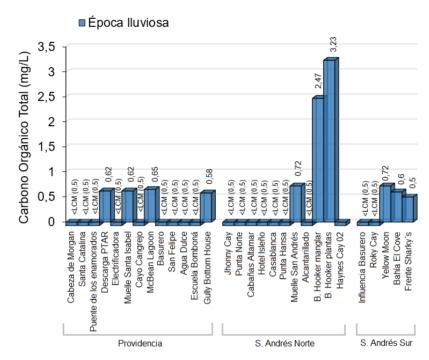


Figura 5-4. Carbono Orgánico Total (COT) en agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, muestreadas en época lluviosa de 2021.

#### 5.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

Para determinar la calidad del agua a partir de variables microbiológicas, en las estaciones de monitoreo de la REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, se analizaron las concentraciones de Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE), y se establecieron los niveles de cumplimiento frente a los límites permisibles para uso recreativo de contacto primario de <200 NMP/100 mL de CTE, <1.000 NMP/100 mL (MinAmbiente, 2015) y <100 UFC/100 mL (Unión Europera, 2006).

En el muestreo del año 2021, las estaciones Agua Dulce en la isla de Providencia, y muelle San Andrés, en la zona de San Andrés Norte, presentaron concentraciones de CTE por encima del límite permisible para contacto primario (200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL; Figura 5-5). En otras estaciones como Descarga PTAR, Muelle Santa Isabel, Basurero, San Felipe, Punta Norte, Bahía Hooker Plantas, y Bahía El Cove, las concentraciones de CTE y CTT fueron inferiores al límite permisible para contacto primario (MinAmbiente, 2015), favoreciendo su uso para actividades recreativas como natación y buceo. En todas las estaciones de las islas de San Andrés y



Providencia, 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, 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 en las estaciones Muelle Santa Isabel, Punta Norte y Muelle San Andrés.

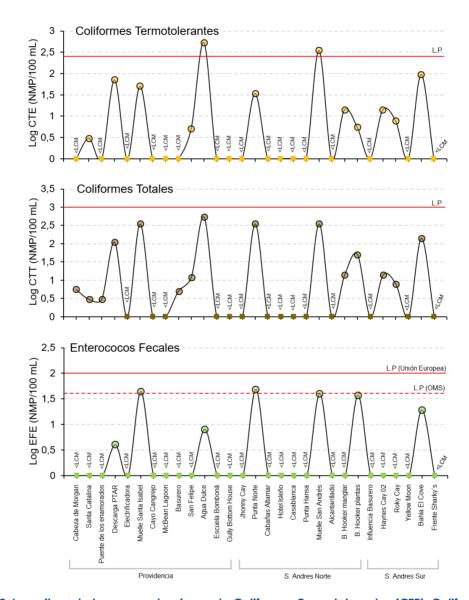


Figura 5-5. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM del departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, muestreo del 2021. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 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 y 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL). Línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL). L.P: Limite Permisible.

El análisis de los registros históricos de CTT, CTE (2001 – 2021), y EFE (2012 – 2021), mostró que las concentraciones de CTE, CTT y EFE en las 10 estaciones evaluadas han mantenido un comportamiento estable con predominio de niveles de cumplimiento altos, lo cual es un indicador favorable para el uso de tipo recreativo. Los niveles de cumplimiento bajos muestran el efecto de las precipitaciones ya que coinciden con años de condiciones La Niña (2001, 2010-2012; NOAA, 2022), así como la influencia de factores antropogénicos asociados con actividades turísticas que se dan en estaciones como Yellow Moon, Rocky Cay, Hotel Isleño, Jhonny Cay, y Agua Dulce. En la última década, han persistido niveles de cumplimiento en las concentraciones de CTE, CTT, y EFE de medios y altos en la Isla de San Andrés (Figura 5-6).

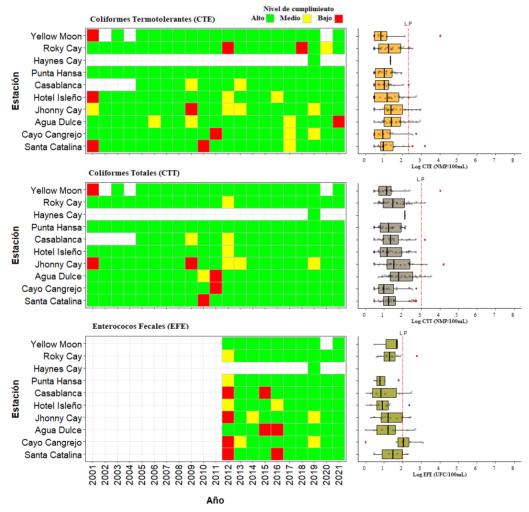


Figura 5-6. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. La escala de valoración del nivel de cumplimento 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.



# 5.2 Contaminación por basura marina y microplásticos en playas turísticas

La determinación de basura marina y microplásticos se realizó en 5 playas turísticas priorizadas del departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, P. Spratt Bright North, P. Jonnhy Kay, P. Charquitos, P. Sound Bay y P. Spratt Bright South. En el muestreo post-huracán, las mayores concentraciones de basura marina se encontraron en P. Charquito con 0,98 ítems/m², mientras que las menores concentraciones estuvieron en P. Sound Bay con 0,51 ítems/m², en cuanto a P. Jonnhy Kay, no se encontraron restos de basura marina (Figura 5-7). Las bajas concentraciones encontradas en estas playas están asociadas a la recolección de basura que realiza la Empresa Prestadora del Servicio público de aseo Trash Busters S.A. ESP, hoteleros y comerciantes del sector, quienes llevaron a cabo limpiezas de playas posterior al evento del huracán Julia, hecho que fue observado al momento de levantar los datos en campo.

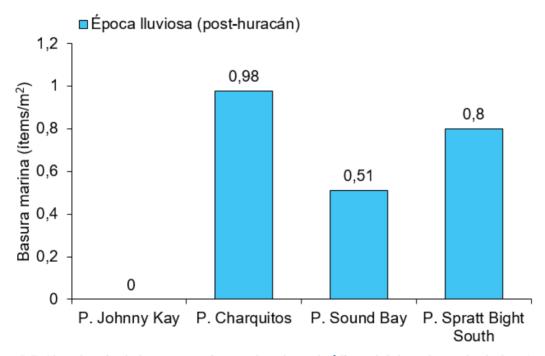


Figura 5-7. Abundancia de basuras marinas en las playas turísticas del departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, registradas en los muestreos realizados el 17 de octubre en la época lluviosa (post-huracán) del 2022.

La basura marina en P. Charquitos, P. Sound Bay y P. Spratt Bight South, estuvo representada por plásticos, metal y textil (Figura 5-8). Estos materiales pueden llegar al medio marino y costero por diferentes actividades humanas; además, de ser transportados por el viento, las corrientes marinas, o por fenómenos meteorológicos extremos como huracanes (Galgani et al., 2015). Dentro de los materiales registrados, los plásticos constituyeron el 97,09% del total de la basura marino costera encontrada, mientras que el textil y el metal representaron el 4,55 y 2,27% respectivamente.

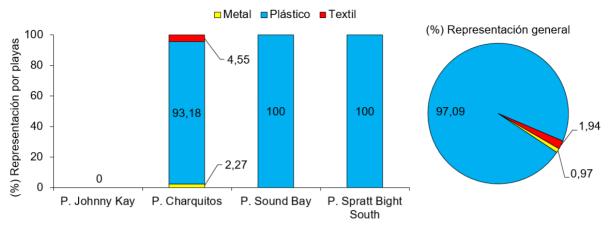


Figura 5-8. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de basura marina en las playas turísticas de Sam Andrés, Providencia y Santa Catalina, evaluadas en los muestreos realizados el 17 de octubre en la época lluviosa (post-huracán) del 2022.

En cuanto a los microplásticos (partículas de plásticos menores a 5 mm), las abundancias en la arena de playa oscilaron entre 3,2 ítems/m² y 56 ítems/m² (Figura 5-9). Las mayores concentraciones se presentaron en la estaciones P. Charquitos con 56 ítems/m² y P. Spratt Bight South 33,6 ítems/m². La mayor abundancia de microplásticos se presentó en las estaciones en las que se registraron mayores abundancias de basura marina.

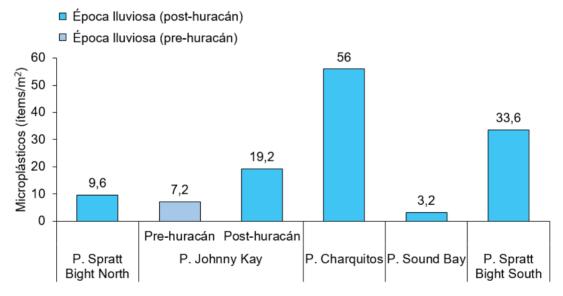


Figura 5-9. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, colectadas el 3 de octubre (pre-huracán) y el 17 de octubre (post-huracán) en época lluviosa de 2022.

Las formas de microplásticos más abundates fueron de origen secundario tipo fragmentos con 56,52%, el cual estuvo presente en todas las estaciones; mientras que los microplásticos de origen primario se presentaron en bajas proporciones en las estaciones P. Spratt Bight North, P. Jonnhy Kay (post-huracán), P. Charquitos y P. Spratt



Bight South (Figura 5-10). La presencia de pellets puede asociarse tanto a las actividades marítimas como a las aguas residuales domésticas que arrastran productos de aseo personal y del hogar, mientras que las de origen secundario provienen de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño que se descargan en el ambiente producto de inadecuados manejos de residuos sólidos (<u>Auta et al., 2017</u>), lo que podría asociarse a las actividades de comercio y turismo propios de la región.

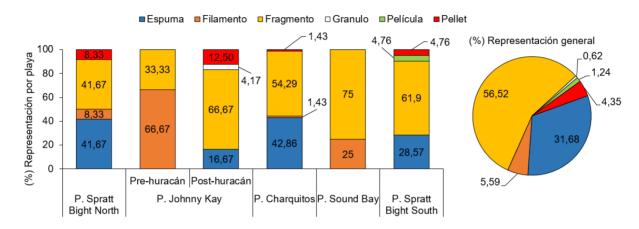


Figura 5-10. Porcentajes de representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playa de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, colectadas el 3 de octubre (pre-huracán) y el 17 de octubre (post-huracán) en época lluviosa de 2022.

### 5.3 Conclusiones y recomendaciones

- El análisis histórico del ICAMPFF por estaciones y los resultados de Carbono Orgánico Total para el año 2021, mostraron condiciones de calidad del agua óptima para la preservación de flora y fauna en el sector sur de la isla de San Andrés, y adecuada en las estaciones Descarga PTAR y Agua Dulce en la isla de Providencia. En Bahía Hooker (Manglar y Plantas) la calidad fue aceptable, debido al efecto de actividades antrópicas relacionadas con usos domésticos, turístico y portuarios, que realizan descargas directas de aguas residuales en la bahía.
- Los niveles de cumplimiento de la calidad microbiológica de las playas de interés turístico han sido favorables en la última década. Únicamente el 5 % de los registros históricos de Coliformes Totales y el 4 % de los registros históricos de Coliformes Termotolerantes, presentaron niveles de incumplimiento para uso recreativo, particularmente en años con condiciones La Niña. Este resultado es relevante para reforzar las medidas de control de actividades turísticas durante períodos con mayor intensidad de precipitaciones.
- En general se presentaron bajas abundancias de microplásticos en la arena de las playas muestreadas en el departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el año 2022, con excepción de P. Charquitos, donde se evidencio contaminación por microplásticos. Los fragmentos fueron el tipo de microplástico más representativo, producto de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño que por acción de los vientos, corrientes y luz UV se deterioran y se acumulan en la arena de playa. Por lo tanto, es importante identificar el transporte, dinámica y las fuentes de contaminación directas y difusas para proponer estrategias que brinden soluciones integrales.



### 6. DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA

El departamento de La Guajira se ubica en el Caribe colombiano y su zona costera está conformada por tres subregiones: alta, media y baja Guajira, cada una con características socioeconómicas y paisajistas propias (<u>Gómez-Cubillos et al., 2015</u>). Según las proyecciones de población a nivel municipal en el periodo 2018 – 2035, los municipios de la zona costera de La Guajira cuentan con una población de 539.488 habitantes (<u>DANE, 2021</u>). Este departamento cuenta con ecosistemas de playas, manglares, arrecifes coralinos, lagunas costeras y las mayores coberturas de pastos marinos del país (<u>Gómez-Cubillos et al., 2015</u>).

La alta Guajira corresponde a la sección norte del departamento, abarca los municipios Uribia y Manaure, donde se desarrollan actividades portuarias para la exportación de carbón (IDEAM, 2021). La Guajira media corresponde a la sección con mayor influencia de poblaciones urbanas, como el municipio de Riohacha, en esta zona desembocan el río Ranchería (CORPOGUAJIRA e INVEMAR, 2012; INVEMAR, 2018). La Guajira baja, se ubica en la vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, esta área tiene la mayor precipitación en el departamento, en la cual se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas. Además, se encuentran las playas turísticas de Dibulla y Camarones y las desembocaduras de los ríos Palomino, Cañas y Jerez (INVEMAR, 2020b).

Las principales fuentes contaminantes del departamento están asociados al desarrollo de actividades socioeconómicas, como la minería (especialmente carbón), las actividades marítimas, portuarias y el turismo, así como los residuos de la población (aguas residuales y residuos sólidos) de los municipios de Uribia, Manaure, Riohacha y Dibulla, (Figura 4-14), lo cual, representa una constante alteración de las propiedades naturales del agua. Esta situación pone en riesgo a los organismos acuáticos y a la población que consume este recurso y tiene contacto primario por actividades recreativas en las playas turísticas (Doria, 2019).

En el departamento de La Guajira, la REDCAM tiene 21 estaciones de muestreo, distribuidas en tres zonas (Figura 6-1). Desde el 2001, el monitoreo de la calidad del agua marina y costera de La Guajira se ha realizado en cooperación entre la Corporación Autónoma Regional de La Guajira –CORPOGUAJIRA y el INVEMAR. El presente reporte contiene información del comportamiento de la calidad del agua desde 2001 hasta 2022.



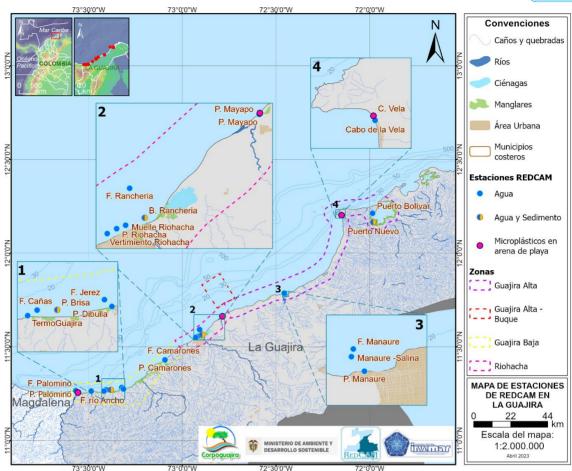


Figura 6-1. Mapa con las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de La Guajira. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial y los puntos rosados corresponden a estaciones donde se muestrea microplásticos en arena de playa. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

### 6.1 Calidad de aguas marinas y costeras

Los análisis históricos (2001 a 2022) 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 26 estaciones analizadas, 80,8% se calificaron como agua marina (n=21), 3,8% como agua estuarina (n=1) y 15,4% como agua dulce (n=4) (Figura 6-2).

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. La estación río Ranchería se clasificó como agua estuarina (salobre) en la época seca, ya que el caudal del río se reduce por el cierre de la boca del río, provocando que el agua de intrusión de la cuña salina se mantenga estancada.

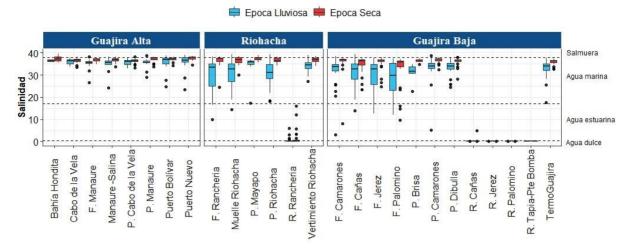


Figura 6-2. Gráfico de caja de la variación histórica (2001-2022) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. 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 ICAM<sub>PFF</sub> se estimó en 13 estaciones monitoreadas en marzo (época seca) y octubre (época lluviosa) del 2021; y en 7 estaciones monitoreadas en febrero 2022 (época seca). En el año 2021, los valores ICAM<sub>PFF</sub> oscilaron entre calidad pésima y adecuada (Figura 6-3), en la época seca el 25% de las estaciones estuvieron en calidad adecuada y el 62,5% en calidad inadecuada.

En el año 2021, en la época lluviosa, la mayoría de las estaciones presentaron condiciones de calidad del agua aceptable y adecuada. Sin embargo, las estaciones P. Dibulla y TermoGuajira mantuvieron condiciones de calidad de agua inadecuada de manera reiterativa en época seca. Situación que debe a los altos niveles de SST debido a los aportes de los ríos Dibulla y Cañas, que desembocan en P. Dibulla y TermoGuajira. Estos aportes son influenciados por el sistema de vientos alisios del noreste que generalmente son más intensos entre enero-marzo y se encuentran predominantemente alineados a la línea de costa (<u>Paramo et al., 2011</u>; <u>Ricaurte-Villota et al., 2017</u>). Adicionalmente, en La Guajira se presentan zonas de baja pendiente, que favorecen los procesos de sedimentación (<u>Pardo, 2017</u>).

En el año 2022, el 57,1% de las 7 estaciones evaluadas estuvieron en calidad adecuada (Puerto Nuevo, Cabo de la Vela, P. Camarones y F. Camarones); un 14,3% en calidad aceptable (P. Mayapo) y un 28,6% en calidad inadecuada (P. Dibulla y TermoGuajira). No se presentaron estaciones con calidad pésima (Figura 6-3).

El análisis detallado por estaciones mostró un aumento de sitios con condiciones de calidad del agua aceptable y adecuada en las estaciones P. Camarones y F. Camarones, las cuales presentaron condiciones inadecuadas en el año 2021 en época seca (Figura 6-3).



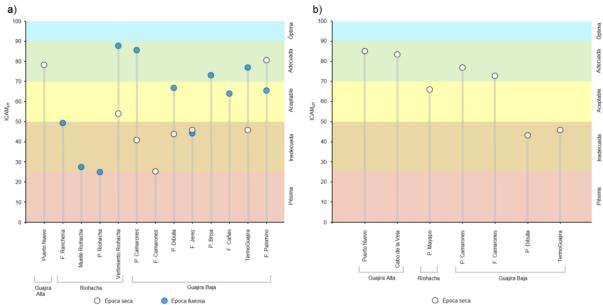


Figura 6-3. Calidad de agua superficial ICAM<sub>PFF</sub> para año 2021 y b) año 2022, en las estaciones marinas y costeras del departamento de La Guajira.

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 0,52 y 2,7 mg COT/L (Figura 6-4). Las mayores concentraciones en la época seca se registraron en Puerto Nuevo (0,84 mg COT/L) y Puerto Bolívar (0,69 mg COT/L); mientras que en la época lluviosa se reportaron en las estaciones F. Camarones (2,7 mg COT/L), P. Mayapo (2,26 mg COT/L) y Puerto Nuevo (2,18 mg COT/L), estaciones que presentan características marinas. En el año 2022 el COT mantuvo registros por debajo del límite de cuantificación del método analítico de laboratorio del LABCAM.

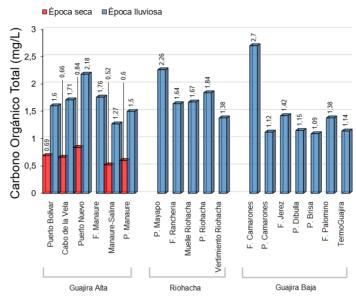


Figura 6-4. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en 2021 en época seca y lluviosa en el departamento de La Guajira. Barras rojas y azules representan la época seca y lluviosa respectivamente.

#### 6.1.1 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

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/100 mL de CTE, <1.000 NMP/100 mL (MinAmbiente, 2015) y <100 UFC/100 mL (Unión Europea, 2006).

En el análisis temporal durante el primer y segundo muestreo del año 2021, en todas las estaciones de la zona Guajira Alta (Puerto Bolívar, Cabo de la Vela, Puerto Nuevo, F. Manaure, Manaure-Salina y P. Manaure) se registraron concentraciones de CTE y CTT por debajo del límite permisible para 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) (Figura 6-5 a), con excepción de Puerto Nuevo para CTE en la época lluviosa, la cual estuvo por encima del límite permisible. Así mismo, la mayoría de las estaciones ubicadas en Riohacha (P. Mayapo, F. Ranchería, Muelle Riohacha, Vertimiento Riohacha y R. Ranchería) presentaron valores por debajo del límite permisible para contacto primario, con excepción de P. Riohacha en época lluviosa y Vertimiento Riohacha y R. Ranchería en época seca, las cuales estuvieron por encima del límite permisible. En la zona de La Guajira Baja, en época seca, en las estaciones R. Jerez, R. Tapia-Pte Bomba, R. Palomino y R. Cañas, se registraron concentraciones de CTT por encima del límite permisible; mientras que, en la época lluviosa, se registraron concentraciones de CTT por encima del límite permisible en las estaciones F. Jerez, P. Dibulla, F. Cañas y F. Palomino (Figura 6-5 a).

En el segundo muestreo del año 2022, en la estación P. Manaure en Guajira Alta, se registraron valores de CTE y CTT por encima del límite permisible para 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) (Figura 6-5 b). En la zona de Riohacha, las concentraciones de CTE y CTT en la estación P. Mayapo estuvieron por encima del límite permisible en época seca; mientras que en época lluviosa todas las estaciones estuvieron por encima del límite permisible para contacto primario. En la zona Guajira Baja, todas las estaciones presentaron valores de CTE y CTT por debajo del límite permisible en época seca; mientras que en época lluviosa en las estaciones (F. Camarones, P. Camarones, F. Jerez, P. Dibulla, P. Brisa y F. Cañas) y las estaciones (F. Camarones y F. Cañas) se reportaron valores por encima del límite permisible para CTE y CTT respectivamente.

En los dos muestreos del año 2021 y el muestreo de febrero en 2022, 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; <u>Unión Europea, 2006</u>); sin embargo, se superó el valor de referencia propuesto por la <u>OMS (2003)</u> de <40 UFC/100 mL, representando un riesgo >1% y de 0,3% de contraer enfermedades gastrointestinales y respiratoria febril aguda en las estaciones F. Camarones y P. Dibulla (Figura 6-6).

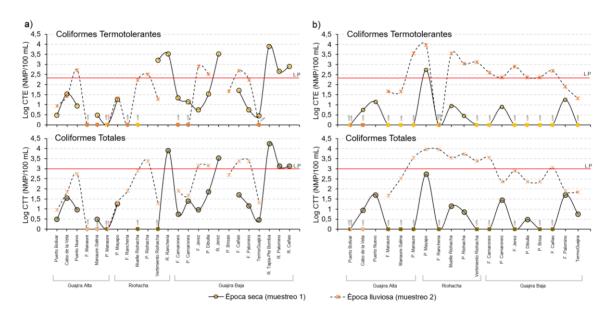


Figura 6-5. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM La Guajira; a) muestreo del 2021 y b) muestreo del 2022. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permisible.

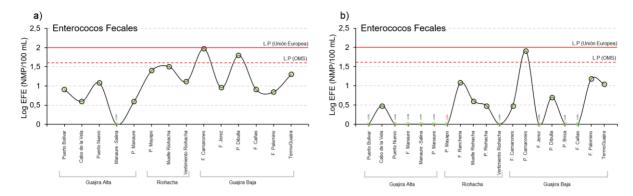


Figura 6-6. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM La Guajira, en época seca a) muestreo del 2021 y b) muestreo del 2022. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL). Línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL). L.P: Limite Permisible.

El análisis entre los años 2001 al 2022 evidencia que las estaciones P. Riohacha, Muelle Riohacha y P. Manaure, han presentado concentraciones de CTE y CTT que superan de manera reiterativa el criterio de calidad para uso recreativo para contacto primario (200 NMP de CTE/100 mL; MinAmbiente, 2015) (Figura 6-7). En los años 2021 y 2022, esta situación se ha visto agravada al presentar un comportamiento con niveles de incumplimiento en la mayoría de las estaciones, particularmente en el muestreo de febrero del año 2022. El deterioro de la calidad microbiológica observado en estos dos últimos años está relacionada con actividades antropogénicas como la ganadería, agricultura, minería y turismo, sin dejar de un lado el deficiente manejo de las aguas residuales y residuos sólidos de los municipios de Uribía, Manaure, Riohacha y Dibulla (INVEMAR, 2020a).

En términos de EFE, se ha evidenciado una mejora en todas las estaciones durante los años 2021 y 2022, con excepción de P. Mayapo, la cual incumplió el criterio de calidad >500 UFC/100 mL (OMS, 2003) en el año 2022 (Figura 6-7). Este resultado junto con los de CTE y CTT, indican la carencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales en esta zona.



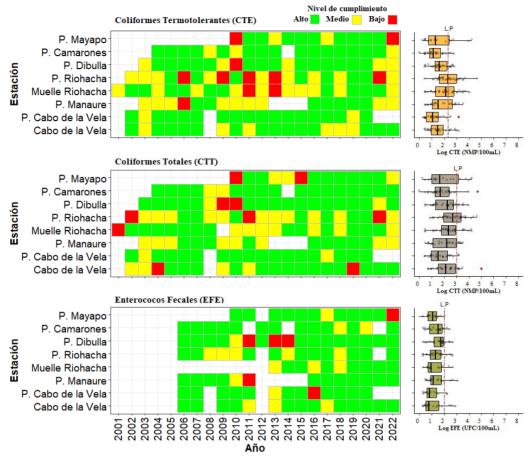


Figura 6-7. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de La Guajira. La escala de valoración del nivel de cumplimento corresponde a: 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.

#### 6.1.2 Metales pesados en agua

En el año 2021, la concentración de plomo (Pb) en agua dulce en la estación R. Jerez estuvo por encima del valor de referencia para efectos crónicos (>2,5 μg Pb/L; Buchman, 2008). El hierro (Fe), en las estaciones R. Ranchería, R. Palomino, R. Jerez y R. Cañas, estuvo por debajo del valor de referencia para efectos crónicos (>1.000 μg Fe/L; Buchman, 2008); en las demás estaciones el Pb y el Fe, estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método de laboratorio del LABCAM (Pb= 12,5 μg Pb/L y Fe= 12,5 μg Fe/L). Las concentraciones cadmio (Cd), cromo hexavalente (Cr<sup>+6</sup>), cobre (Cu), níquel (Ni) y Pb estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método de laboratorio del LABCAM (Cd= 2,5 μg Cd/L, Cr<sup>+6</sup>= 5 μg Cr<sup>+6</sup>/L; Cu= 2,5 μg Cu/L, Ni= 7,5 μg Ni/L, y Zn= 5 μg Zn/L) (Figura 6-8).

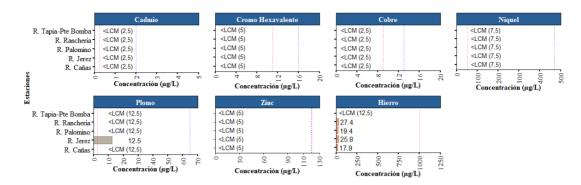


Figura 6-8. Concentración de metales disueltos en agua dulce de las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, monitoreadas en el 2021. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) para agua dulce (Buchman, 2008).

En el agua marina muestreada en el año 2021 y 2022, en las estaciones (TermoGuajira, P. Camarones, P. Brisas, F. Palomino, F. Jerez, F. Cañas y F. Camarones), se registraron concentraciones de zinc (Zn) por debajo del valor de referencia para efectos crónicos (>81 μg Zn/L; Buchman, 2008). En las estaciones Vertimiento Riohacha, TermoGuajira, P. Camarones y F. Jerez, se reportaron concentraciones de hierro (Fe) de 78,2, 17,7, 25,3 y 22,5 μg Fe/L, respectivamente (Figura 6-9); en las demás estaciones, el Zn y el Fe estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM (Zn= 5 μg Zn/L y Fe= 12,5 μg Fe/L). Las concentraciones Cd, Cr<sup>+6</sup>, Cu, Ni y Pb estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM (Cd= 2,5 μg Cd/L, Cr<sup>+6</sup>= 5 μg Cr<sup>+6</sup>/L; Cu= 2,5 μg Cu/L, Ni= 7,5 μg Ni/L y Pb= 12,5 μg Pb/L).

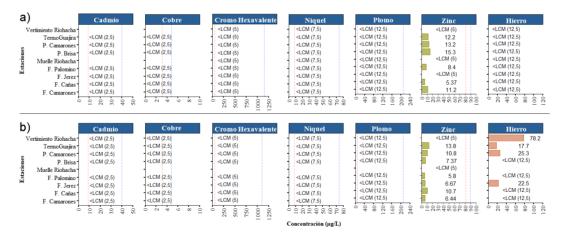


Figura 6-9. Concentración de metales disueltos en agua marina de las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, muestreadas en a) año 2021 y b) año 2022. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) para agua marina (Buchman, 2008).



#### 6.2 Calidad sedimentos marinos y costeros

Los análisis de granulometría en las muestras de sedimentos recolectadas en la estación Puerto Nuevo en la época lluviosa del año 2021, tuvieron un contenido de 8,82% de lodo, 70,9% de arena y 20,2% de grava, clasificando el sedimento como tipo de arena muy fina, con un diámetro de 352,5 µm (Figura 6-10 a y Figura 6-11 a). Las muestras colectadas en el año 2022 en la época seca, tuvieron un contenido de 27,6% de lodo, 49,8% de arena y 22,6% de grava, clasificando el sedimento como tipo de arena muy fina, con un diámetro de 223,3 µm (Figura 6-10 b y Figura 6-11 b). Esta clasificación se asocia a su cercanía con la línea de costa influenciada por los vientos alisios del noreste y corrientes marinas (Paramo et al., 2012).

En la estación P. Brisa, el sedimento colectado en la época lluviosa del año 2021, tuvo un contenido de lodo de 23,5% y 76,2% de Arena (Figura 6-10 c y Figura 6-11 a), clasificando el sedimento como tipo lodoso (limo+arcilla, <63 µm), con diámetro medio del grano de 50,78. El sedimento colectado en la época seca del año 2022, tuvo un mayor porcentaje de lodo (84,3%) (Figura 6-10 d y Figura 6-11 b), clasificando el sedimento como tipo lodoso (limo+arcilla, <63 µm), con diámetro medio del grano de 20,24 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 a la costa y lodo arenoso más hacia afuera, debido a la deposición in situ de detritos biogénicos (Paramo et al., 2012).

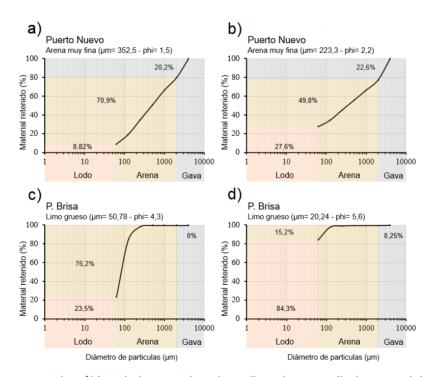


Figura 6-10. Curva granulométrica de las muestras de sedimentos recopiladas en octubre del 2021 (a y c) y febrero del 2022 (b y d), en la estación Puerto Nuevo y P. Brisas en el departamento de La Guajira.

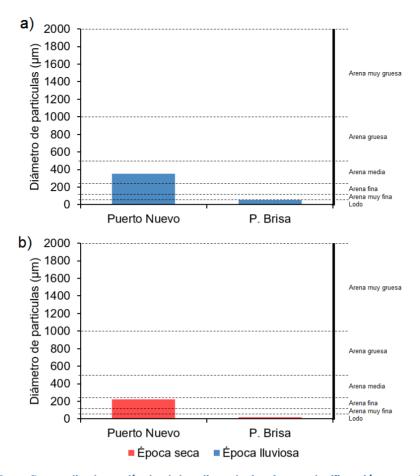


Figura 6-11. Tamaño medio de partícula del sedimento (µm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en a) año 2021 y b) año 2022, en el departamento de La Guajira. Las barras rojas y azules diferencian la época seca y lluviosa, respectivamente. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

En las muestras de sedimento colectadas en la estación B. Ranchería, en la época seca del año 2021, el contenido de Carbono orgánico total (COT) fue 1,08%. En el sedimento de la estación Puerto Nuevo, colectado en la época lluviosa, el porcentaje de COT fue 0,61%; y el sedimento colectado en la época seca el año 2022, el contenido de COT 2,06%. En el sedimento de la estación P. Brisa colectado en el año 2021, 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 6-12 a); por el contrario, en el sedimento colectado en el año 2022, el contenido de COT fue 0,81% (Figura 6-12 b).



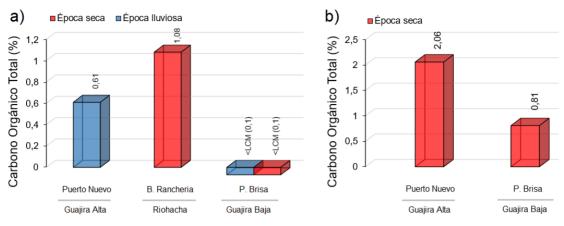


Figura 6-12. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de sedimentos recopilados en a) año 2021 y b) año 2022 en el departamento de La Guajira.

En sedimentos marino/estuarinos, colectados en el año 2021, las mayores concentraciones de metales totales se registraron en la estación Puerto Nuevo, tanto en la época seca como la lluviosa (Figura 6-13). En particular en época lluviosa se presentaron registros de Cu de 51,4 μg Cu/g por encima del valor de referencia para efectos lumbral (TEL) de 18,7 μg Cu/g (Buchman, 2008). Mientras que, en época seca la estación B. Ranchería presentó concentraciones de Cu de 11, 7 μg Cu/g, Cr de 28,5 μg Cr/g y Zn de 67,5 μg Zn/g, valores que están por debajo de los valores de referencia TEL (18,7 μg Cu/g; 52,3 μg Cr/g y 124 μg Zn/g; Buchman, 2008) (Figura 6-13). En la estación P. Brisa, las concentraciones de Cu y Zn en ambas épocas climáticas estuvieron por debajo del valor de referencia TEL; el contenido de Hg (7,12 ng Hg/g) en la época lluviosa se mantuvo por debajo del valor de referencia TEL de 130 ng Hg/g (Buchman, 2008). Las concentraciones de Cd, Cr, Ni y Pb estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM (Cd= 12,5 μg Cd/g, Cr= 25 μg Cr/g, Ni= 75 μg Ni/g y Pb= 15 μg Pb/g).

En la estación Puerto Nuevo, las concentraciones de Cu, Hg, Pb y In fueron mayores en la época lluviosa, lo cual podría deberse a las precipitaciones que aumentan las escorrentías, transportando los materiales de los suelos hacia la parte baja de los tributarios del mar (Vivas-Aguas et al., 2012). En contraste, la mayor concentración de 7,62 mg Fe/g de Fe se reportó en la época seca y disminuyó en la época lluviosa con 4,46 mg Fe/g. El Fe es un metal que se encuentra de forma natural en la corteza terrestre (Wang et al., 2021), su presencia es relativamente común en zonas superficiales de intensa oxidación como lo es la Alta Guajira (Zulugga et al., 2009). Las concentraciones naturales del hierro y otros metales en los sedimentos pueden variar con relación al tamaño del grano, la mineralogía, el contenido de materia orgánica, factores antrópicos y condiciones climáticas (Wang\_et al.,\_2009). En el caso de Puerto Nuevo, los resultados del monitoreo REDCAM (Figura 6-10) han evidenciado que en la época seca predominan las arenas muy finas y los lodos, mientras que en época lluviosa aumenta el tamaño de grano con predominio de materiales gruesos (arenas y gravas), lo que explica la disminución en la concentración de hierro, ya que a medida que aumenta el tamaño de grano

disminuye la capacidad del sedimento para acumular metales (Guven & Akinci, 2013).

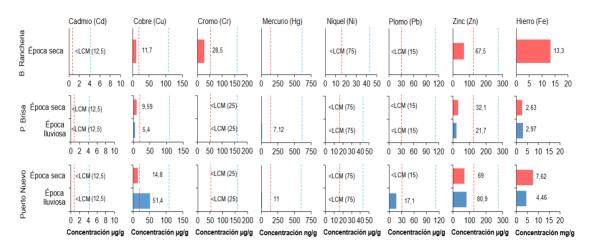


Figura 6-13. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos recopilados en 2021 en el departamento de La Guajira. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (<u>Buchman, 2008</u>) para sedimentos marino/estuarino.

En el muestreo de febrero del año 2022, las mayores concentraciones de metales totales en sedimentos marino/estuarinos, el Cu (126 μg Cu/g), Pb (45,1 μg Pb/g) y Zn (126 μg Zn/g) estuvieron por encima del valor de referencia TEL (18,7 μg Cu/g; 30,2 μg Pb/g y 124 μg Zn/g; Buchman, 2008) (Figura 6-14). En la estación P. Brisa, las concentraciones de Cu (8,22 μg Cu/g), Cr (14,6 μg Cr/g), Hg (16,3 ng Hg/g) y Zn (39,1 μg Zn/g) estuvieron por debajo del valor de referencia TEL (Buchman, 2008). Además, las concentraciones de Cd, Ni y Pb estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM (Cd= 12,5 μg Cd/g, Ni= 75 μg Ni/g y Pb= 15 μg Pb/g) (Figura 6-14).

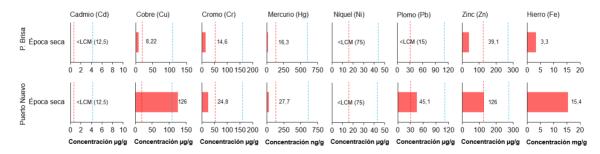


Figura 6-14. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos recopilados en 2022 en el departamento de La Guajira. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM. 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.



# 6.3 Contaminación por basura marina y microplásticos en playas turísticas

La evaluación de tres playas turísticas del departamento de La Guajira, Playa Mayapo, Playa Palomino y Cabo de la Vela, en febrero del 2022 (época seca), mostró que la concentración de basura marina osciló entre 0,18 a 0,47 ítems/m²; y en octubre del 2022 (época lluviosa), la concentración de basura varió entre 0,33 a 0,53 ítems/m² (Figura 6-15). Las playas con mayor contaminación fueron Cabo de la Vela con 0,47 ítems/m² y Playa Palomino con 0,4 ítems/m² en la época seca; mientras que en la época lluviosa la playa con mayor contaminación fue Mayapo, con 0,53 ítems/m². Con esta información, no es posible determinar sí este comportamiento podría estar relacionado con las épocas climáticas, puesto que no hay un patrón marcado que permita diferenciar las abundancias encontradas en cada época.

Cabe resaltar que La Guajira presenta muy poca actividad industrial, pero es un destino turístico popular (<a href="Acosta-Coley\_et\_al.">Acosta-Coley\_et\_al.</a>, 2019). Los valores de basura marina encontrados fueron bajos en comparación con otras playas turísticas; no obstante, son similares a los reportados en Playa Cristal, Cabo Tortuga y Bello Horizonte del departamento del Magdalena (<a href="Garcés-Ordóñez et al.">Garcés-Ordóñez et al.</a>, 2020b). Las playas evaluadas en el departamento de La Guajira son de tipo rural de acuerdo con los conceptos establecidos por el <a href="DANE">DANE</a> (2019). Generalmente 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 (<a href="Garcés-Ordóñez et al.">Garcés-Ordóñez et al.</a>, 2020a), condiciones que influyen en su estado de contaminación por basura.

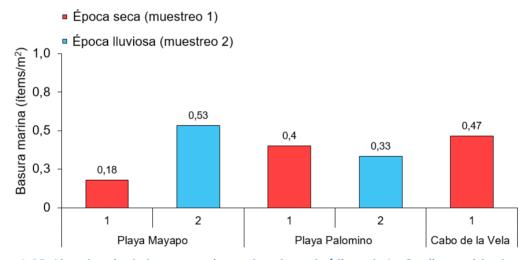


Figura 6-15. Abundancia de basura marina en las playas turísticas de La Guajira, registrada en los muestreos realizados del 22 al 24 de febrero (época seca) y 27 al 28 de octubre (época lluviosa) de 2022.

Entre los materiales de basura marina caracterizada en la época seca de 2022, los plásticos se destacaron por su presencia en Playa Mayapo (75%), Playa Palomino (33,3%) y Cabo de la Vela (100%), seguido por el vidrio (25%) en Playa Mayapo; mientras que el textil (38,9%) y papel (22,2%) fueron abundantes en Playa Palomino (Figura 6-16 a). En la época lluviosa del 2022, la proporción de plásticos aumentó en Playa Mayapo (91,7%); asimismo, la abundancia del papel (53,3%) y vidrio (6,7%) aumentaron en Playa Palomino (Figura 6-16 b). 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).

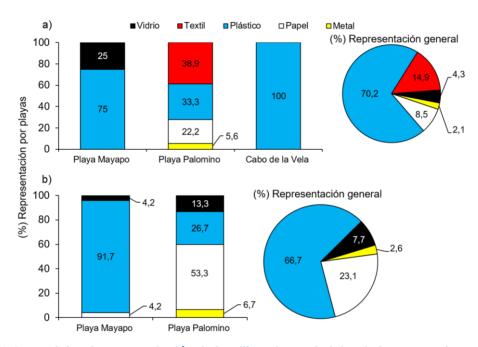


Figura 6-16. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de basura marina en las playas turísticas de La Guajira, evaluadas en los muestreos realizados a) del 22 al 24 de febrero (época seca y b) 27 al 28 de octubre (época lluviosa) de 2022.

En relación a los microplásticos (partículas de plásticos menores a 5 mm), en el muestro de la época seca 2022, las abundancias en la arena de playa oscilaron entre 18,4 ítems/m² y 47,2 ítems/m²; y en la época lluviosa entre 3,2 ítems/m² y 9,6 ítems/m² (Figura 6-17). Las playas con mayor contaminación por microplásticos en la época seca fueron Palomino con 47,2 ítems/m² y Cabo de la Vela con 38,4 ítems/m² (Figura 6-17). La mayor abundancia de microplásticos presentó un patrón relacionado a las estaciones en las que se registraron altas abundancias de basura marina. Las abundancias encontradas son similares a las reportadas en playas Neguanje, Cristal, Grande, Blanca, Bahía Concha, Taganga, Camellón, Los Cocos, y Bello Horizonte en el departamento del Magdalena (Garcés-Ordóñez et al., 2020b).



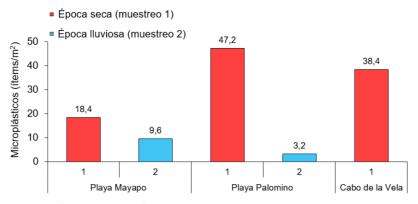


Figura 6-17. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas de La Guajira, colectados entre el 22 al 24 de febrero (época seca) y 27 al 28 de octubre (época lluviosa) de 2022.

Las formas más abundantes de microplásticos en la época seca fueron filamentos en Playa Mayapo (91,3%), Playa Palomino (52,5%) y Cabo de la Vela (91,5%), seguido por fragmentos y espuma en poca proporción (Figura 6-18a); mientras que en la época lluviosa fueron fragmentos en Playa Mayapo (91,7%) y Playa Palomino (75%), seguidas por espuma en esta última estación (Figura 6-18 b), todas estas formas de microplásticos son de origen secundario, derivadas 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 bajas abundancias de microplásticos podrían estar asociadas a la ausencia de fuentes 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).

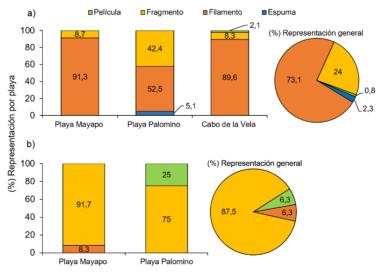


Figura 6-18. Porcentajes de representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas de La Guajira, colectadas en los muestreos realizados a) del 22 al 24 de febrero (época seca y b) 27 al 28 de octubre (época lluviosa) de 2022.

#### 6.4 Conclusiones y recomendaciones

- La calidad del agua marina y costera del departamento de La Guajira en la época lluviosa del año 2021, determinada mediante el ICAM<sub>PFF</sub>, mostró un deterioro en la estación P. Riohacha que pasó de condiciones de calidad óptima en el año 2019, a condiciones de calidad pésima; además, en las estaciones F. Ranchería, Muelle Riohacha y F. Jerez, se registraron condiciones inadecuadas. En la época seca del año 2021, las estaciones P. Camarones, F. Camarones, P. Dibulla, F. Jerez y TermoGuajira presentaron condiciones inadecuadas. La mala calidad del agua está asociados a los altos niveles de Sólidos Suspendidos Totales, Coliformes Termotolerantes y nitratos, debido a fuentes contaminantes, como el vertimiento de aguas residuales domésticas, producto de la ausencia o deficiente sistema de alcantarillado. 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. Mayapo, P. Camarones, P. Dibulla, P. Riohacha, Muelle Riohacha y P. Manaure es inadecuada para actividades turísticas o recreativas para contacto primario, debido a que las cargas de CTE y CTT altas que superan de manera recurrente los criterios de calidad de la Legislación Colombiana (Decreto 1076 del 2015). Adicionalmente, en P. Mayapo las concentraciones de EFE, incumplen los lineamientos de la OMS.
- En las playas Palomino, Mayapo y Cabo de la Vela se registró contaminación por microplásticos de origen secundario. En la época seca predominó el tipo filamento, producto de la fragmentación de fibras de textiles y residuos de redes de nylon; en la época lluviosa predominó el tipo fragmento, provenientes de la descomposición de plásticos de mayor tamaño. Es necesario realizar mayores investigaciones, para identificar las fuentes de contaminación por microplásticos y el transporte de este contaminante, sin dejar a un lado la dinámica de las corrientes marinas y erosión costera.



#### 7. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

El departamento del Magdalena se ubica en el Caribe colombiano y su zona costera comprende territorio de los municipios de Santa Marta, Ciénaga, Puebloviejo y Sitionuevo. La población humana en estos municipios costeros al 2020 fue de ~724.298 habitantes (DANE, 2021). Los ecosistemas marino costeros presentes en el departamento son las playas de arena, arrecifes coralinos, pastos marinos, manglares, lagunas costeras litorales rocosos y fondos sedimentarios, que influyen en la cultura y la economía de la población local, por su importancia en la actividad de turismo, en la pesca y en las actividades portuarias, entre otros (Ecoversa, 2014). Además, desembocan numerosos ríos que nacen en la Sierra Nevada de Santa Marta.

Las principales fuentes de contaminación al mar del Magdalena son los vertimientos directos de aguas residuales, los inadecuados manejos de los residuos sólidos, los residuos de las actividades mineras, agrícolas, pecuarias, portuarias, industriales y de turismo tradicional (Figura 4-14; <u>Vivas-Aguas et al., 2014a</u>).

En el Magdalena, la REDCAM cuenta con 39 estaciones de muestreo distribuidas en cinco zonas (Figura 7-1), la zona Buritaca que comprende la cuenca baja de los ríos que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta, como Don Diego, Buritaca, Guachaca y Mendihuaca, los cuales circulan por extensas áreas agrícolas; la zona Parque Tayrona caracterizada por ser un área natural protegida; la zona Santa Marta donde confluyen un mayor número de actividades socioeconómicas y recibe vertimientos de aguas residuales de la ciudad; la zona Costa Sur que abarca el área donde operan tres puertos carboníferos y donde se realizan actividades turísticas y la zona Marina-CGSM, que corresponde al área marina frente de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM).



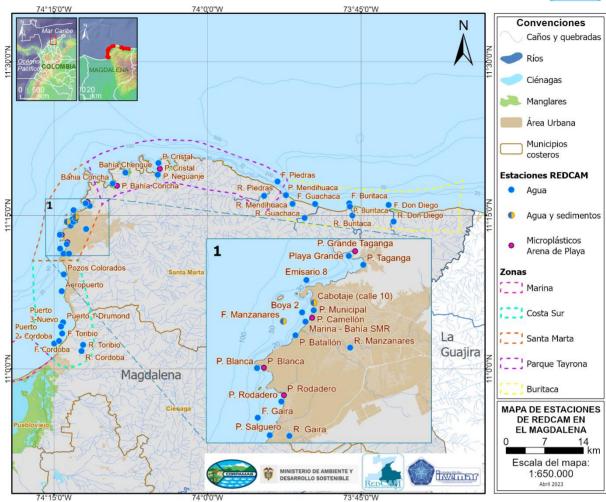


Figura 7-1. Mapa con las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento del Magdalena. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial y los puntos rosados corresponden a estaciones donde se muestrea microplásticos en arena de playa. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

#### 7.1 Calidad de aguas marinas y costeras

#### 7.1.1 Calidad de agua para la preservación y protección de flora y fauna

En el departamento del Magdalena, se ha monitoreado históricamente la calidad de las aguas marinas y costeras en aproximadamente 45 estaciones, de las cuales en los dos últimos años (2021 y 2022) se muestrearon solo 39. Teniendo en cuenta la clasificación de las aguas por los valores de salinidad propuestos por Knox (2001; Figura 7-2), se mantuvo la tendencia histórica y para los muestreos en el año 2022 el 77% de las estaciones REDCAM son de tipo agua marina y corresponden principalmente a playas, bahías y algunos frentes de ríos. El otro 23% de estaciones presentaron características de tipo agua dulce, las cuales se encuentran ubicadas en ríos del departamento (río Córdoba, río Toribio, río Gaira, río Manzanares, río Piedras, río Buritaca, río Mendihuca, río Guachaca y río Don Diego). De las 39

estaciones del departamento, 30 mostraron un comportamiento de tipo marino, las cuales presentan una tendencia común de valores de salinidad altos en época seca (Figura 7-2).

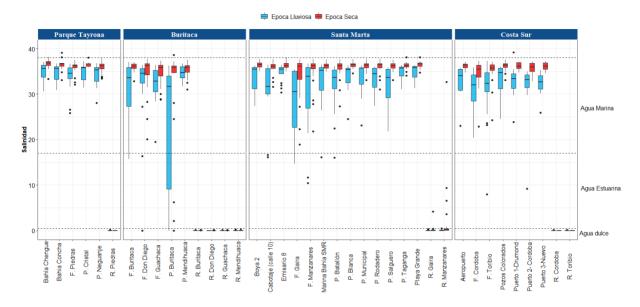


Figura 7-2. Boxplot de la variación histórica (2001 hasta 2022) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Magdalena, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los 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).

A partir de los muestreos realizados en 2022 en las zonas del Parque Tayrona, Buritaca, Santa Marta y Costa Sur durante época seca o transición (Muestreo 1 – mayo y julio) y época lluviosa (Muestreo 2 – septiembre), se calculó el ICAM<sub>PFF</sub>. En época seca, se calculó en 16 estaciones y en época lluviosa, en 24 estaciones.

Los resultados del ICAM<sub>PFF</sub> mostraron variaciones entre estaciones con calidad pésima y óptima (Figura 7-3). En época seca los registros fluctuaron entre 31,81 y 90,77, y en época lluviosa entre 17,83 y 94,15. En la época seca se evidenció que las estaciones de la zona de Buritaca (F. Don Diego, P. Mendihuaca, F. Guachaca y P. Buritaca) presentaron condiciones inadecuada y aceptable, a excepción de F. Buritaca, la cual presentó calidad adecuada (Figura 7-3). El total de estaciones del Parque Tayrona presentaron calidad adecuada. En la zona de Santa Marta, la estación Cabotaje (calle 10) presentó condiciones de calidad aceptable, igualmente que F. Toribio ubicada en Costa Sur.

En la época lluviosa, el ICAM<sub>PFF</sub> presentó las 5 categorías de calidad, donde las estaciones frente ríos Piedras y frente Buritaca, presentaron calidad inadecuada, y en las estaciones F. Manzanares y P. Batallón (zona de Santa Marta), se encontró una pésima calidad (Figura 7-3), debido a las concentraciones de nutrientes (nitrato y fosfato), que llegan a través de las descargas difusas de fuentes contaminantes y del rio manzanares, el cual de acuerdo a lo documentado por Plata & Vega (2016)



descarga a la zona costera nutrientes provenientes del perímetro urbano, donde se evidencian vertimientos de aguas residuales domésticas y residuos sólidos.

Las estaciones F. Piedras, F. Buritaca, F. Guachaca, F. Don Diego, P. Buritaca y F. Gaira, presentaron condiciones de calidad ambiental inadecuada, debido a las altas concentraciones de Coliformes Termotolerantes, lo que puede estar relacionado con aguas residuales y la temporada de lluvias (Reyes & Fontalvo, 2020); esta condición representa un riesgo para las actividades que se realizan en la zona.

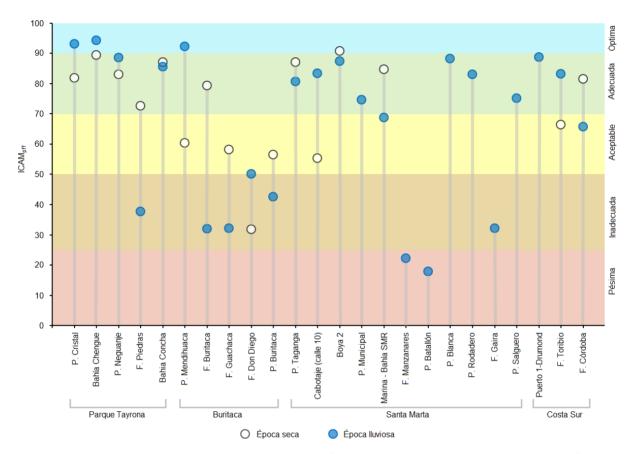


Figura 7-3. Calidad de agua superficial ICAM<sub>PFF</sub> para época seca (Muestreo 1 – mayo y julio) y época lluviosa (Muestreo 2 – septiembre) del 2022, en las estaciones marinas y costeras del departamento del Magdalena.

En general las concentraciones de Carbono Orgánico Total (COT) variaron entre menor al límite de cuantificación del método usado en INVEMAR (< LCM = 0,5 mg COT/L) y 0,94 mg COT/L, para las estaciones distribuidas en la zona del Parque Tayrona; entre < LCM (0,5 mg COT/L) y 0,98 mg COT/L en Buritaca; entre 0,78 y 2,08 mg COT/L en Santa Marta; y entre 1,55 y 2,34 mg COT/L Costa Sur (Figura 7-4). Por otra parte, se observa la tendencia creciente de la concentración de COT del norte hacia el sur, lo que se asocia con la presencia de actividades antrópicas municipales e industriales que se desarrollan en las zonas de muestreo REDCAM en Santa Marta y Costa Sur. Cabe destacar, que a pesar de las altas concentraciones de COT

registradas en algunas estaciones, no se registró una disminución de oxígeno disuelto que se puedan asociar a los procesos bioquímicos del carbono.

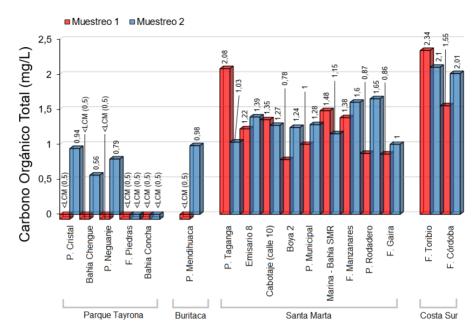


Figura 7-4. Carbono Orgánico Total (COT) en las muestras de agua recolectadas en el departamento del Magdalena, durante la época seca (mayo y julio) y época lluviosa (septiembre). Las barras rojas y azules representan la época seca y lluviosa respectivamente.

#### 7.1.2 Calidad de agua para el uso recreativo en playas turísticas

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/100 mL de CTE, <1.000 NMP/100 mL (MinAmbiente, 2015) y <100 UFC/100 mL (Unión Europea, 2006).

En el 2022 las concentraciones de CTE oscilaron entre < LCM (1,8) y 240.000 NPM/100 mL, tanto en época seca, como en época lluviosa. Por su parte, las concentraciones de CTT estuvieron entre 49 y 240.000 NPM/100 mL en época seca y 6,8 y 240.000 NPM/100 mL en época lluviosa (Figura 7-5). Las estaciones R. Manzanares y R. Gaira presentaron los valores máximos de CTE y CTT en ambas épocas, los cuales sobrepasan lo reportado por Marín et al., 2005 en el periodo entre 1995-2005, con valores mayor a 100.000 NMP en diferentes épocas climáticas. Históricamente estos cuerpos de agua han sido receptores de vertimientos residuales domésticos (Plata & Vega, 2016), lo que influye directamente en el incremento de contaminación por agentes microbiológicos, que por años ha mostrado tendencias crecientes debido al aumento poblacional en la ciudad y los niveles de precipitación.

Otras estaciones, por ejemplo, R. Toribio, R. Córdoba, R. Mendihuaca, R. Don Diego, R. Guachaca y R. Piedras, presentaron concentraciones de CTE por encima de 1000 NMP/100 mL y CTT hasta 54.000 NPM/100 mL (Figura 7-5). Estos puntos de monitoreo y



zonas aledañas se encuentran influenciados por actividades ganaderas, hoteles, comercio turístico, restaurantes y zonas urbanas, lo que podría ser un aporte de contaminación por actividades antrópicas.

La mayoría de estaciones asociadas a playas o en lejanías a la desembocadura de los ríos (P. Cristal, Bahía Chengue, P. Neguanje, P. Mendihuaca, P. Grande, P. Taganga, Cabotaje (calle 10), Emisario 8, Boya 2, Marina Bahía SMR, P. Blanca, P. Rodadero, Pozos colorados y Aeropuerto) presentaron concentraciones significativamente más altas de CTE y CTT en la época seca, como consecuencia de la carga turística, el cual es el principal factor de contaminación ambiental en las playas de Santa Marta (Reyes & Fontalvo 2020).

Caso contrario sucede con las estaciones directamente relacionadas con los ríos monitoreados, donde las mayores concentraciones de CTE y CTT se vieron reflejados en la temporada de lluvia, lo cual tiene estrecha relación con el proceso de lavado del suelo y escorrentías que arrastran estos microrganismos provenientes de excretas humanada y animales como el ganado.

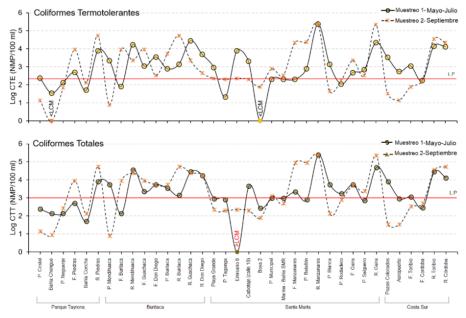


Figura 7-5. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Magdalena, en época seca (Muestreo 1 – Mayo y julio) y época lluviosa (Muestreo 2 – Septiembre) del 2022. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 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.

Con respecto a EFE se evidenciaron concentraciones en época seca entre <LCM (1) y 285 UFC/100 mL y en época lluviosa entre 2 y 600 UFC/100 mL (Figura 7-6). La estación Cabotaje (calle 10) presentó las mayores concentraciones en ambas épocas (>285 UFC/100 mL), seguido de P. Buritaca (>150 UFC/100 mL). Por el contrario, Pozos colorados y Aeropuerto mostraron las menores concentraciones (< 1 UFC/100 mL) para la época seca y Bahía Chengue en época lluviosa (2 UFC/100 mL, Figura 7-6).

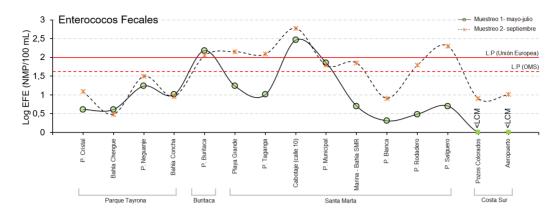


Figura 7-6. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Magdalena, en época seca (Muestreo 1 – Mayo y julio) y época lluviosa (Muestreo 2 – Septiembre) del 2022. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 100 UFC/100 ml o 2log (UFC/100 ml) para EFE. Línea roja: Limite de referencia internacional.

En la Figura 7-7 se presenta el registro histórico del nivel cumplimiento de concentraciones de CTE, CTT y EFE como indicadores microbiológicos de calidad del agua para el uso recreativo en las playas turísticas del Magdalena. La estación P. Buritaca presentó niveles de cumplimiento bajo para el 2022 en términos de concentraciones de CTE, CTT, las cuales sobrepasaron los criterios de calidad establecidos por la legislación colombiana para uso recreativo (< 200 NMP/100 mL de CTE y <1.000 NMP/100 mL de CTT; MinAmbiente, 2015) y de EFE que estuvieron por encima del valor de referencia propuesto por la Unión Europea (<100 UFC/100 mL de EFE; Unión Europea, 2006). Desde el 2019 se ha registrado un comportamiento poco favorable de la calidad microbiológica para esta playa, mostrando indicios de aumento de las concentraciones de CTE, CTT y EFE en los últimos años.

Por otra parte, en la mayoría de playas turísticas del Magdalena, se evidenció una disminución de la calidad del agua a nivel microbiológico, comportamiento que se asocia al aumento del desarrollo de actividades turísticas y al aumento de las precipitaciones debido al fenómeno de La Niña (IDEAM, 2022c) donde se favorecen los procesos de transporte de vertimientos directos y difusos que llegan por escorrentías o descarga de ríos. Estaciones como Bahía Concha y Neguanje, mostraron condiciones de calidad alta con respecto a los valores de referencias de CTE, CTT y EFE establecidos por MinAmbiente, (2015) y Unión Europea, (2006). Particularmente estas playas se encuentran a las afueras de la ciudad de Santa Marta, donde parques nacionales naturales de Colombia ejerce mayor control de la capacidad de carga durante la ejecución de actividades turísticas y además dispone de infraestructuras sanitarias, como baños públicos, razón por la cual no existe una relación directa de aguas residuales con el mar (Reyes & Fontalvo, 2020).

Las playas turísticas municipales (P. Municipal, P. Batallón, P. Rodadero, Playa Grande, P. Blanca, P. Batallón, P. Salguero, Pozos Colorados) presentaron un nivel de cumplimiento medio y bajo en 2021 y 2022, con respecto a los valores permisibles para uso recreativo (Figura 7-7). Estas playas de uso turístico muestran la necesidad de una intervención inmediata en el mejoramiento de los sistemas de tratamiento de agua



residuales, debido a los registros de coliformes evidenciados en el 2021 y 2022 (Figura 7-7). Además, de una intervención de los ríos Manzanares y Gaira que son receptores de aguas residuales y desembocan en estas zonas.

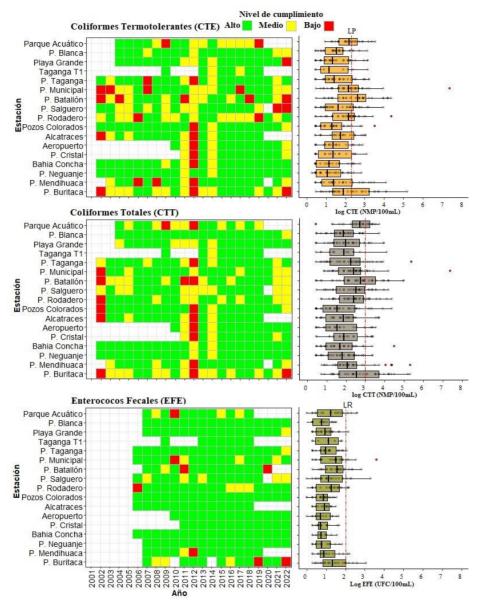


Figura 7-7. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento del Magdalena. La escala de valoración del nivel de cumplimento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible para CTE y CTT, y el valor de referencia para EFE; Medio, Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (>=50y < 100%) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible y valor de referencia; Bajo, cuando menos del 50% (<50%) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible y valor de referencia. LP: Límite Permisible y LR: Límite de referencia.

En las 12 estaciones monitoreadas, F. Córdoba, Cabotaje (calle 10), R. Buritaca, F. Piedras, F. Toribio, R. Guachaca, F. Don Diego, F. Gaira, F. Manzanares, R. Don Diego, Emisario 8, y R. Piedras, las concentraciones de la mayoría de metales, tanto en época seca, como lluviosa, estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método de laboratorio del LABCAM, cadmio (Cd) <LCM (2,5 µg Cd/L), cobre (Cu) <LCM (2,5 µg Cu/L), cromo (Cr) <LCM (100 µg Cr/L), mercurio (Hg) <LCM (0,3 ng Hg/L), níquel (Ni) <LCM (7,5 µg Ni/L) y plomo (Pb) <LCM (12,5 µg Pb/L).

El zinc (Zn), se registró en casi todas las estaciones, a excepción de Cabotaje (calle 10), F. Gaira y F. Piedras, las cuales presentaron valores menores al LCM (5 µg Zn/L). Las concentraciones registradas oscilaron entre 5,02 y 17,2 µg Zn/L, siendo R. Guachaca la que presentó la mayor concentración. Las concentraciones de hierro (Fe) en las estaciones F. Piedras, F. Gaira, F. Córdoba, Emisario 8 y Cabotaje (calle 10), estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método <LCM (12,5 µg Fe/L); en las estaciones R. Guachaca, F. Don Diego, R. Piedras, F. Manzanares, R. Buritaca, R. Don Diego y F. Toribio, se registraron concentraciones de Fe que oscilaron entre 15,9 y 53,6 µg Fe/L; la mayor concentración se registró en F. Toribio.

#### 7.1.3 Calidad sedimentos marinos y costeros

Los valores de granulometría encontrados en F. Manzanares y Cabotaje (Calle 10), en época lluviosa, fueron de tipo limo grueso y arena fina, con tamaños medios del grano menores a 63 µm y entre 125 µm – 250 µm, respectivamente (Figura 7-8).

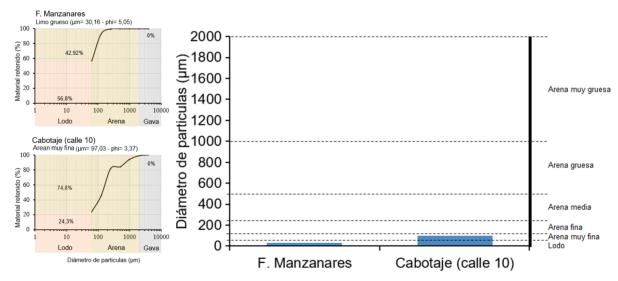


Figura 7-8. Tamaño medio de partícula del sedimento (µm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en el 2022 en el departamento de Magdalena. Las barras azules representan la época lluviosa. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

Para la estación F. Manzanares, las concentraciones de metales pesados en sedimentos marino/estuarinos en 2022 para cobre (Cu) oscilaron entre 12,4 y 17 μg Cu/g; <LCM (25) y para cromo (Cr) 31,6 μg Cr/g; para zinc (Zn) 78,6 y 92,5 μg Zn/g;



para mercurio (Hg) 19,5 y 32,5 ng Hg/g; para hierro (Fe) 28,9 y 32,5 mg Fe/g, en época seca y lluviosa. Las concentraciones de cadmio (Cd), níquel (Ni) y plomo (Pb), estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método usado por LABCAM (Cd= 12,5 µg Cd/g, Ni= 75 µg Ni/g y Pb= 15 µg Pb/g).

Para la estación Cabotaje (Calle 10), las concentraciones de metales en sedimentos para Cu oscilaron entre <LCM (5) y 24,8 µg Cu/g; para Cr <LCM (25) y 29,1 µg Cr/g; para Pb <LCM (5) y 17 µg Pb/g; para Zn 30,6 y 142 µg Zn/g; para Hg 8,5 y 78,5 µg Hg/g; y para Fe 4,2 y 22 mg Fe/g. Las concentraciones de Cd y Ni estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método usado por el LABCAM (Cd= 12,5 µg Cd/g y Ni= 75 µg Ni/g) (Figura 7-9). Los sedimentos colectados en Cabotaje (Calle 10), en la época seca (muestreo realizado en mayo), mostraron concentraciones de Cu y Zn que superaron los valores de referencia TEL propuestos por la NOAA (18,3 µg Cu/g y 124 µg Zn/g; <u>Buchman, 2008</u>). Esto indicaría que existe una probabilidad baja de que estos metales puedan ocasionar efectos adversos en organismos acuáticos.

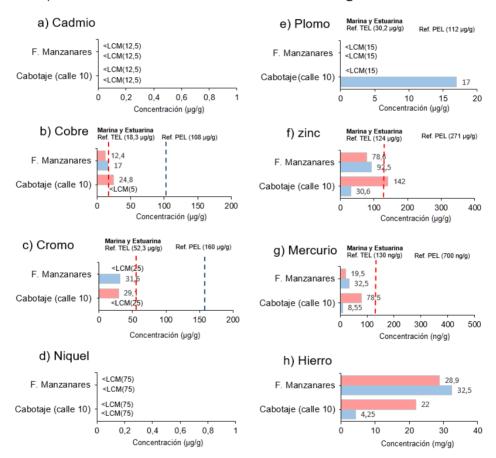


Figura 7-9. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos recopilados en 2022 en el departamento del Magdalena. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.

### 7.2 Contaminación por basura marina y microplásticos en playas turísticas

La evaluación de seis playas turísticas del departamento del Magdalena, mostró que, en la época seca, la concentración de basura marina varió entre 0 a 2,64 ítems/m²). En la época lluviosa (septiembre) del 2022, la concentración de basura marina osciló entre 0,67 a 2 ítems/m² (Figura 7-10). Las playas con mayor contaminación fueron Playa Municipal y Playa Rodadero que se caracterizan por presentar una actividad comercial intensa debido al frecuente turismo; adicionalmente, la playa Municipal ubicada en la Bahía de Santa Marta, recibe las descargas del río Manzanares, de las aguas servidas de la calle 22 y del Muelle Cabotaje, las cuales llevan consigo desechos sólidos que son la causa principal de las altas abundancias de basura marina (Garcés-Ordóñez et al., 2020a).

Durante el muestreo de la época lluviosa (Figura 7-10) las abundancias de basura marina en Playa Grande-Taganga fueron 2 ítems/m²; en Playa Rodadero, 2,16 ítems/m²; y en Bahía Concha 2,38 ítems/m². Comparando estos resultados con los del año 2021, en donde las abundancias superaron los 13 ítems/m² (INVEMAR-CORPAMAG, 2021), se observa que hubo una disminución de basura marina en estas playas, situación que podría asociarse a las actividades de recolección de basura que corresponde al Programa de limpieza de playas (Rodadero y Taganga) de la empresa prestadora del servicio de aseo (Atesa, 2022). En Bahía Concha, la recolección de basura se da por parte de la comunidad y asociaciones de turismo (Garcés-Ordóñez et al., 2020a), además del control ejercido por parte de Parques Nacionales Naturales de Colombia. Playa Cristal, presentó los menores valores de basura marina (0,67 ítems/m²). Estos resultados ponen en evidencia las buenas prácticas por parte de los visitantes y operadores, quienes reciben mensajes de sensibilización y cuidado ambiental con el propósito de reducir la contaminación en esta zona que pertenece al Parque Tayrona.

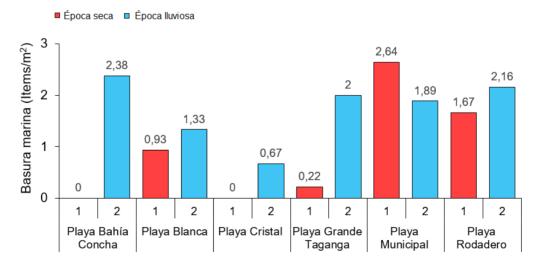


Figura 7-10. Abundancia de basura marina en las playas turísticas de Santa Marta, registradas en los muestreos realizados en el mes de mayo y julio (muestreo 1) y septiembre (muestreo 2) en 2022.



Durante la época seca, no hubo presencia de basura marina en Playa Bahía Concha y Playa Cristal. En Playa Blanca, Playa Grande-Taganga y Playa Municipal, se observó abundante material plástico, representando el 54,8%, 80% y 51,3% respectivamente; , seguido por papel (31,7%), el cual tuvo mayor presencia en Playa Rodadero (46,7%) y Playa Municipal (31,9%) (Figura 7-11 a). Así mismo, en el muestreo de la época lluviosa, la proporción de plásticos fue alta en todas las estaciones con un total de 65,5% para todas las playas (Figura 7-11 b). A nivel mundial, los plásticos son uno de los materiales más abundantes de la basura marina, debido a la producción, uso y características de alta persistencia en el ambiente, lo cual facilita la acumulación en zonas marino costeras e impactando negativamente a los mismos (<u>lñiguez et al., 2016</u>).

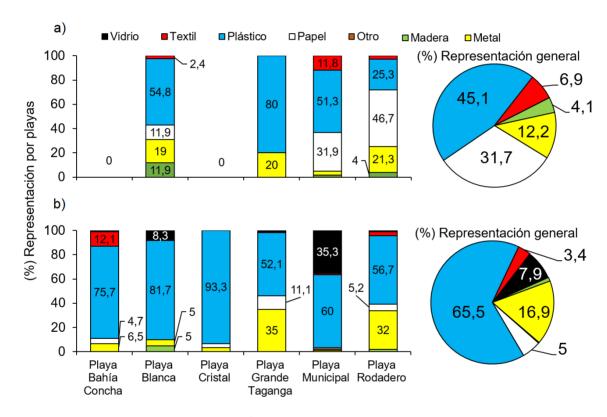


Figura 7-11. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de basura marina en las playas turísticas de Santa Marta, evaluadas en: a) mayo y julio (muestreo 1) y b) septiembre (muestreo 2) del 2022.

En relación a los microplásticos (partículas de plásticos < 5 mm), las abundancias en la arena de playa variaron entre 0,04 a 5,31 ítems/m² en el muestreo de la época seca; mientras que en el muestreo de la época lluviosa, oscilaron entre 0,09 a 1,29 ítems/m² (Figura 7-12). Las playas con mayor contaminación por microplásticos fueron Playa Grande-Taganga y Playa Rodadero, particularmente en el muestreo de la época seca. En las estaciones Bahía Concha, Playa Blanca, Playa Cristal y Playa Municipal, la presencia de microplásticos fue < 1 ítems/m² tanto en el muestreo de la época seca, como el muestreo de la época lluviosa, evidenciando una mejoría con

respecto al año 2021 donde se registraron mayores concentraciones (INVEMAR-CORPAMAG, 2021). En las áreas marino costeras, los microplásticos presentan altas abundancias y una amplia distribución, impactando negativamente los ecosistemas acuáticos (Auta et al., 2017). Sin embargo, es necesario ampliar la cobertura de los estudios a nivel temporal y espacial, para determinar abundancias y características químicas de los microplásticos. De modo que permita conocer las principales fuentes, distribución y los distintos problemas que trae consigo esta contaminación sobre los organismos acuáticos y comunidades costeras.

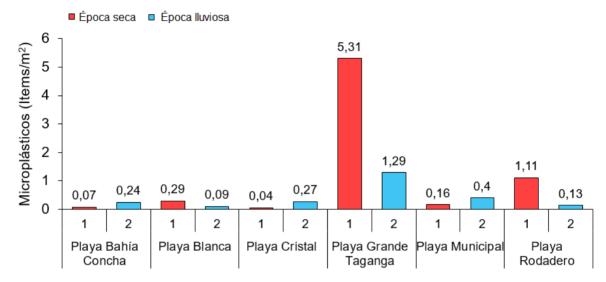


Figura 7-12. Concentración de microplásticos en las muestras de arena de las playas de Santa Marta, colectada en el mes de mayo y julio (muestreo 1) y septiembre (muestreo 2) en 2022.

En cuanto a las formas de microplásticos, los más abundantes fueron de origen secundario. En el muestreo de la época seca, el 61,1% fue espuma, 17,2% fragmento. 14,6% película, 6,1% filamento y 1% pellets; en el muestreo de la época lluviosa el 63,3% fueron fragmento, 23,9% espuma, 6,4% espuma, 5,5 película y 0,9% pellets (Figura 7-13 a y b), evidenciando que provienen de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño. Estos resultados 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). Por otro lado, los colores de los microplásticos más abundantes fueron blanco (52,7%), azul (19,4%), rojo (9,5%) y verde (9%) similar a lo reportado por Garcés-Ordóñez et al. (2021a) y Nhon et al. (2022). Estos colores corresponden a los productos plásticos originales; sin embargo, con el tiempo van cambiando por la radiación solar, erosión eólica, fricción contra la arena y oxidación (Acosta-Coley et al., 2019). En ambientes marinos, es de vital importancia conocer la coloración de los microplásticos, debido a que es un factor influyente en la ingesta de la biota marina, ya sea por la captura impulsada por partículas coloridas o confusión por parte del depredador (Prarat & Hongsawat, 2022).



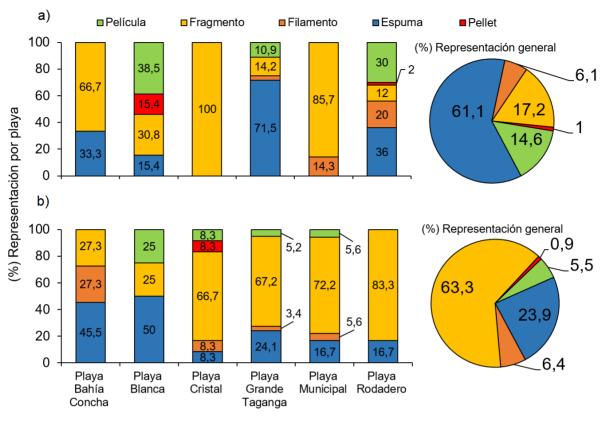


Figura 7-13. Proporción de los tipos de microplásticos en las muestras de arena de las playas de Santa Marta, colectadas en: a) mayo y julio (muestreo 1) y b) septiembre (muestreo 2) del 2022.

#### 7.3 Conclusiones y recomendaciones

- El ICAMPFF mostró un deterioro de la calidad del agua para la preservación de flora y fauna en las estaciones F. Manzanares y P. Batallón durante el 2022, por altas concentraciones de nutrientes y coliformes provenientes del río Manzanarez. Se puede establecer que P. Batallón y F. Manzanarez se encuentra influenciada en gran medida por el río Manzanares, elemento que aportan importantes cargas de aguas residuales con nutrientes y coliformes, fuente que está relacionada con el aumento de la población en la ribera del río en el casco urbano y la época de lluvias.
- El carbono orgánico total fue mayor en las estaciones distribuidas hacia el sur del departamento del Magdalena, lo que se asocia a la presencia de actividades municipales e industriales que se desarrollan en estas zonas. Los valores máximos de COT fueron predominantes en los frentes de los ríos Toribio y Córdoba.
- Los resultados de CTE y CTT obtenidos en las playas P. Municipal, P. Batallón, P. Rodadero, Playa Grande, P. Blanca, P. Salguero, P. Buritaca y Pozos Colorados mostraron niveles de cumplimento medio y bajo para el 2022, superando en algún periodo del año los límites permisibles establecidos por la normatividad colombiana para el uso recreativo de las aguas, lo que impide que el recurso hídrico sea aprovechado mediante contacto primario y secundario mediante actividades. Debido a la estrecha relación de estos microorganismos con materia fecal, es necesario mejorar el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad, y establecer los controles necesarios para mitigar las descargas, las cuales provocan el deterioro de la calidad del agua. Además, de una intervención de los ríos Manzanares y Gaira que son receptores de aguas residuales y desembocan en estas zonas.
- Los metales pesados en sedimentos evaluados en la estación Cabotaje (Calle 10) presentaron registros de cobre y zinc que superaron los valores de referencia TEL propuestos por la NOAA. Situación que indicaría una baja probabilidad de que estas concentraciones puedan ser toxicas y ocasionar efectos a organismos presentes. Pese a lo anterior, se requiere seguir evaluando el estado y realizar estudios adicionales que permitan determinar las fuentes y tomar acciones preventivas.
- La presencia de basura marina y microplásticos en la arena de las playas turísticas de Santa Marta demuestran el impacto negativo de las actividades antrópicas asociadas al manejo inadecuado de los residuos municipales. A pesar de esto, los resultados mostraron un patrón de disminución con respecto al año 2021, lo que pone en evidencia la mejora en las buenas practicas por parte de la comunidad, quienes periódicamente reciben mensajes de sensibilización y cuidado ambiental por parte de los programas impulsados por diferentes instituciones y entidades gubernamentales.



#### 8. DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO

El departamento del Atlántico se ubica en el Caribe colombiano, limita al oriente con el río Magdalena y al suroccidente con el departamento de Bolívar. La franja litoral se extiende en Mar Caribe, desde Bocas de Ceniza hasta las salinas de Galerazamba (Ensenada de Galerazamba), con una longitud de 90 km aproximadamente. Su clima es seco, cálido árido y semiárido, influenciado por los vientos alisios, con temperaturas media entre 28 y 30°C y un régimen de lluvia bajo (<u>Gómez-Cubillos et al., 2015</u>).

Para efectos de la evaluación, su zona costera se subdivide en tres zonas denominadas río Magdalena, Puerto Colombia y Tubará-Acosta, cada una con características paisajísticas y socioeconómicas propias. La zona del río Magdalena abarca parte de la cuenca baja del río Magdalena y la Ciénaga de Mallorquín, en esta zona se realizan actividades portuarias y agrícolas, y hay presencia de vertimientos de aguas residuales de Barranquilla y Soledad. La zona de Puerto Colombia comprende la franja costera del municipio de Puerto Colombia, en esta zona la actividad que predomina es el turismo. La zona de Tubará-Acosta corresponde a la franja costera de los municipios de Juan de Acosta y Turbará, los cuales tienen baja cobertura de alcantarillado, con ciénagas y algunas playas de interés turístico.

En la costa del departamento desemboca el río Magdalena, el más caudaloso del Caribe y receptor de aguas residuales domésticas e industriales de las poblaciones del interior y de la costa del país.

Las principales fuentes de contaminantes en el departamento son la minería, los residuos de las actividades agrícolas, pecuarias, industriales, turísticas, marítimas y portuarias, y los residuos de la población (aguas residuales y residuos sólidos) (Figura 4-14; Vivas-Aguas et al., 2015).



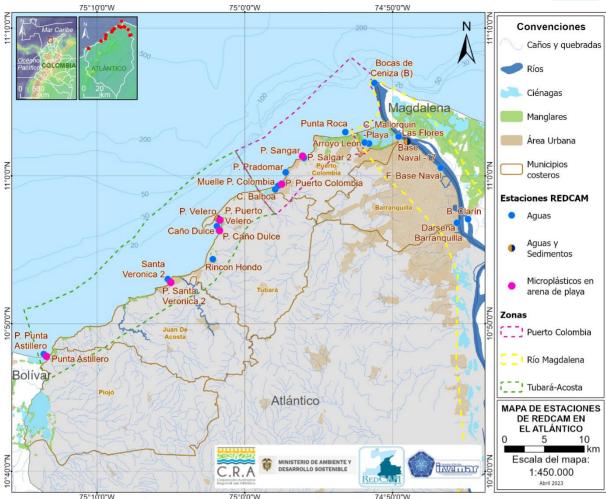


Figura 8-1. Mapa con las estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento del Atlántico. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial y los puntos naranjas las estaciones microplásticos. Los puntos bicolores (azul y naranja) corresponden a estaciones de agua y microplásticos; los puntos bicolores (café y azul) cafés representan las estaciones de muestreo de agua y sedimentos. Los polígonos punteados enmarcan las zonas de muestreo (Puerto Colombia, Río Magdalena y Tubará-Acosta).

#### 8.1 Calidad de aguas marinas y costeras

#### 8.1.1 Calidad de agua para la preservación y protección de flora y fauna

Considerando la clasificación de las aguas por los valores de salinidad propuesto por Knox (2001) (Figura 8-2), se determinó que el 63% de estaciones REDCAM en el departamento Atlántico corresponden a agua marina, el 32% a agua dulce y solo el 5% a aguas estuarinas.

El análisis histórico de salinidad del agua en las estaciones del departamento del Atlántico, mostró que las estaciones B. Clarín, Base Naval-17, Bocas de Cenizas (B), Dársena Barranquilla, F. Base Naval y Las Flores distribuidas en la zona del Río Magdalena se clasifican como tipo agua dulce; y las estaciones Arroyo León y C.

Mallorquín-Playa se clasificaron como agua estuarina y agua marina respectivamente (Figura 8-2). Estas últimas estaciones presentan influencia de la marea, la cual comunica el sistema lagunar con el mar y zonas próximas a la misma, provocando un aumento de salinidad del agua en este ecosistema.

Las estaciones de la zona de Puerto Colombia y Tubará Acosta se clasificaron como tipo agua marina, tanto en época seca como lluviosa. No obstante, las estaciones C. Balboa y Rincón Hondo que muestran un tipo de agua marina en época lluviosa, para la época seca los valores de salinidad aumentan significativamente, teniendo estaciones con un tipo de agua salmuera (Figura 8-2).

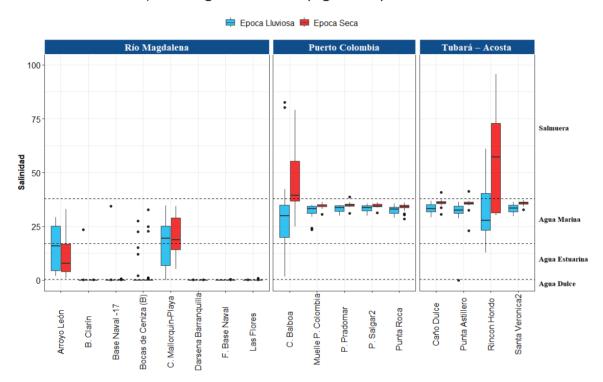


Figura 8-2. Boxplot de la variación histórica (2001 hasta 2022, sin año 2020) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Atlántico, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es 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).

A partir de los muestreos realizados en 2022 durante época seca (Muestreo 1 – febrero y marzo) y época lluviosa (Muestreo 2 – mayo), se calculó el ICAMPFF para la preservación de flora y fauna en 11 estaciones del departamento del Atlántico. En general, los valores ICAMPFF para las estaciones distribuidas en Puerto Colombia, desembocadura del río Magdalena y Tubará-Acosta oscilaron entre calidad pésima (11,64 %) y adecuada (83,69 %) (Figura 8-3). En época seca los registros fluctuaron entre 17,19 y 75,97, y en época lluviosa entre 11,64 y 83; en época seca de las 11 estaciones evaluadas, el 36,4% estuvieron en calidad adecuada, un 36,4% en calidad inadecuada y un 27,2% en calidad pésima. Durante la época lluviosa (mes de mayo)



con el aumento de las precipitaciones se observó una disminución en el porcentaje de estaciones con calidad adecuada (18,2%) y un aumento de estaciones con calidad aceptable (27,3%), con un 36,4% en calidad inadecuada y 18,2% pésima.

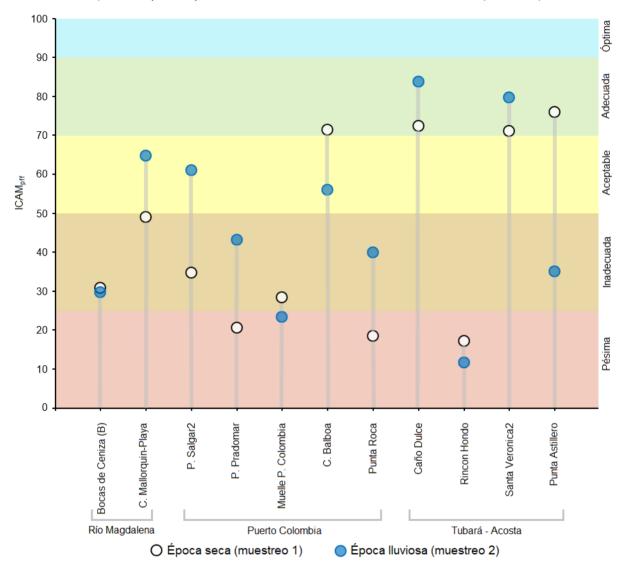


Figura 8-3. Calidad de agua superficial ICAM<sub>PFF</sub> para época seca (Muestreo 1 – febrero y marzo) y época lluviosa (Muestreo 2 – mayo) del 2022, en las estaciones marinas y costeras del departamento del Atlántico.

En la zona de Puerto Colombia, la mayoría de estaciones ubicadas (P. Pradomar, Punta Roca y Muelle P. Colombia) presentaron calidad pésima e inadecuada, tanto en época seca, como en época lluviosa. Las estaciones Rincón Hondo y Bocas de Cenizas (B) no presentaron variación entre épocas, manteniendo una condición pésima e inadecuada respectivamente. Estos resultados indican que es necesario tomar acciones frente las fuentes de contaminación presentes en estas zonas, las cuales contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas marinas y costeras.

Adicionalmente, a partir de los muestreos realizados en el segundo semestre en noviembre del 2022 (época lluviosa), se calculó el ICAMPFF para la preservación de flora y fauna en 12 estaciones del departamento del Atlántico. De las doce (12) estaciones evaluadas, el 25% estuvieron en calidad adecuada, un 33% en calidad aceptable y un 33% en calidad inadecuada, la única estación que presentó calidad pésima fue C. Balboa. Donde se destacan los resultados del ICAMPFF para las estaciones Bocas de Ceniza y C. Mallorquín-playa (zona río Magdalena), Muelle Puerto Colombia (zona Puerto Colombia) y Santa Verónica 2 en la zona Tubará-Acosta; en donde se presentaron condiciones inadecuadas; y calidad pésima en C. Balboa (zona Puerto Colombia) (Figura 8-4).

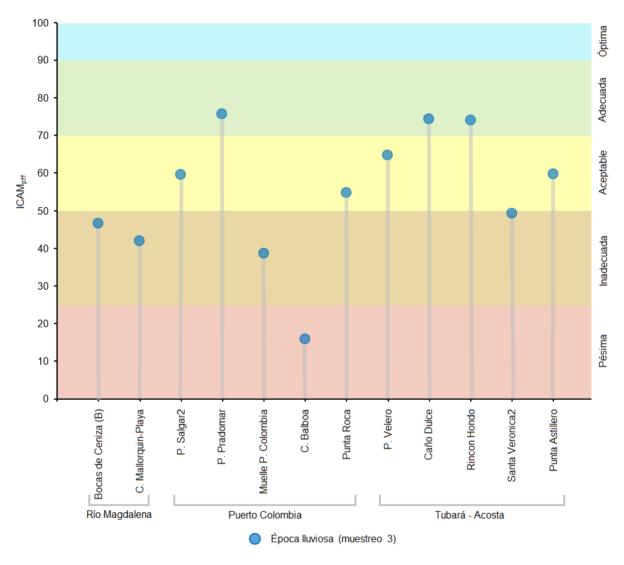


Figura 8-4. Calidad de agua superficial ICAM<sub>PFF</sub> para época lluviosa (Muestreo 3 - noviembre) del 2022, en las estaciones marinas y costeras del departamento del Atlántico.



El análisis mostró que las estaciones Rincón Hondo, P. Pradomar, Punta Roca y Punta Astillero presentaron calidad adecuada y aceptable, evidenciando una mejoría con respecto al primer semestre del año 2022, donde se encontraron en calidad pésima e inadecuada en la época lluviosa (INVEMAR-CRA 2022). Por el contrario, las estaciones C. Mallorquín-Playa, Santa Verónica y C. Balboa presentaron calidad inadecuada y pésima, mostrando un deterioro de la calidad con respecto al primer semestre, donde se encontraron en calidad adecuada y aceptable. Las estaciones de pésima e inadecuada calidad se deben a las altas concentraciones de nitritos. ortofosfatos, SST y CTE, asociados a actividades marítima-portuarias, descarga de aguas residuales, industria, agricultura y turismo, que se destacan como los principales contribuyentes de contaminantes y nutrientes a los cuerpos de aqua costeros del departamento (Vivas-Aguas et al., 2015). Además, la influencia del río Magdalena en la dinámica marino-costera del departamento trae consigo altas caraas contaminantes. Por lo tanto, se necesita tomar acciones que permitan mitigar el impacto de las fuentes de contaminación presentes en esta zona, las cuales contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas marino costeras.

En el primer semestre del año 2022, la mayoría de estaciones del departamento del Atlántico las concentraciones de Carbono Orgánico Total (COT) fluctuaron entre 0,9 y 18 en época seca, con algunos registros por debajo del LCM del método usado en el LABCAM; y entre 1,0 y 32,4 mg/L en época lluviosa (Figura 8-5). En las estaciones Arroyo León, ubicada en la zona de Río Magdalena y Rincón Hondo en Tubará-Acosta, se registraron las concentraciones más altas de COT, entre 14,9 y 32,4 mg/L en época seca y lluviosa.

Las altas concentraciones de COT en la estación Rincón Hondo pueden estar relacionadas con la materia orgánica natural en descomposición, producto de residuos vegetales aledaños o sumergidos. Este ecosistema está rodeado por vegetación de manglar que es sometido a deforestación para la producción de carbón vegetal, así como para la preparación de tierras para la explotación agrícola o ganadera (Blanco-Muñoz et al., 2020). Además, el cuerpo de agua presenta alta abundancia de especie de fitoplancton, como Nitzschia acicularis, la cual es tolerante a la contaminación y dominantes en ambientes con altos niveles de estrés (Blanco-Muñoz et al., 2020). Estos residuos orgánicos agotan los niveles de oxígeno, lo que puede provocar asfixia en organismos y deterioro en el agua, situación que se vio reflejada durante el muestreo, con bandas de espuma y organismos como peces y crustáceos muertos presentes en las orillas de la ciénaga, como se muestra en la Figura 8-6.

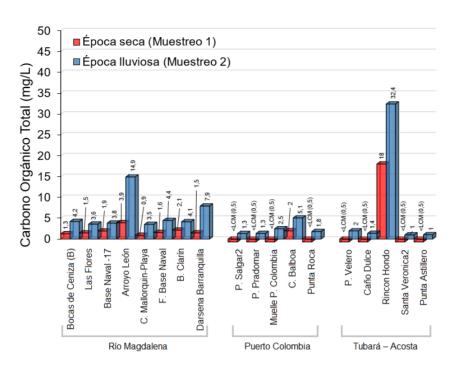


Figura 8-5. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en época seca (febrero y marzo 2022) y época lluviosa (mayo 2022) en el departamento del Atlántico. Barras rojas y azules representan la época seca y lluviosa respectivamente.



Figura 8-6. Evidencias de la calidad del agua y mortalidad de organismos acuáticos en las estaciones A: Rincón Hondo y B: Arroyo León en el departamento del Atlántico. Foto: José Cusba.



En el segundo semestre del año 2022, el análisis de COT, en las estaciones P. Velero y Caño Dulce estuvo por debajo del LCM del método usado en el LABCAM; por el contrario, en las estaciones ubicadas en la zona Río Magdalena, Puerto Colombia y Tubará – Acosta, las concentraciones estuvieron entre 0,59 y 17,4 mg COT/L (Figura 8-7). Las mayores concentraciones se registraron en la zona de Puerto Colombia en las estaciones Muelle P. Colombia con 17,4 mg COT/L, P. Salgar2 con 10,2 mg COT/L y P. Pradomar con 8,89 mg COT/L; en estas tres estaciones costeras, se desarrolla una alta actividad turística y se encuentran asentamientos urbanos, por lo que podrían estar influenciadas por contaminación de fuentes terrestres, particularmente en la época lluviosa, cuando aumentan las descargas fluviales y el aporte hídrico que proviene de arroyos, caños y escorrentías asociados a vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales que aportan altos niveles de materia, sin dejar de un lado la incidencia del río Magdalena, cuyos contaminantes son arrastrados a zonas aledañas.

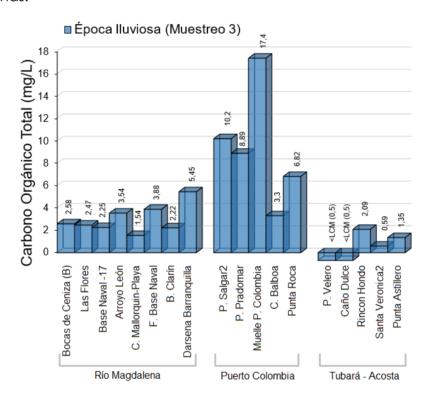


Figura 8-7. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en época lluviosa (noviembre del 2022) en el departamento del Atlántico.

#### 8.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

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

En el primer y segundo muestreo del año 2022, todas las estaciones ubicadas en la zona de Puerto Colombia (C. Balboa, Muelle P. Colombia, P. Pradomar, P. salgar2, y Punta Roca), presentaron concentraciones de CTE y CTT por encima del límite permisible para 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 la estación C. Balboa (donde las CTT, estuvieron por debajo del límite permisible para contacto primario) (Figura 8-8). Así mismo, todas las estaciones ubicadas en la zona de Río Magdalena (Bocas de Ceniza (B), Las Flores, Base Naval-17, F. Base Naval, Darsena Barranquilla, B. Clarín, C. Mallorquín-Playa y Arroyo León), presentaron concentraciones de CTE y CTT por encima del límite permisible para contacto primario.

En la zona de Tubará-Acosta, estaciones como Rincón Hondo y Punta Astillero tuvieron un comportamiento similar entre épocas, mostrando concentraciones de CTE y CTT por debajo del límite permisible en la época seca y concentraciones por encima del límite permisible en época lluviosa (Figura 8-8).

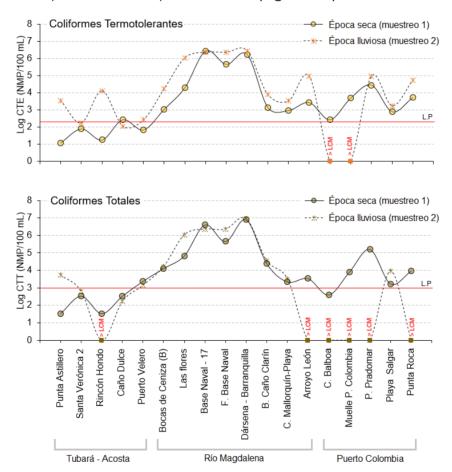


Figura 8-8. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Atlántico, en época seca (Muestreo 1 – febrero y marzo) y época lluviosa (Muestreo 2 – Mayo) del 2022. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde 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 en la zona de Puerto Colombia, tanto en la época seca, como en la época lluviosa, se registraron concentraciones de EFE por encima del límite permisible (100 UFC/100 ml o 2 log (UFC/100 mL; Unión Europea, 2006) y se superó 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, con excepción de Muelle P. Colombia en la época lluviosa (Figura 8-9). En las estaciones ubicadas en la zona Tubará–Acosta, se registró un comportamiento opuesto, con concentraciones entre 2 y 9 UFC/100 mL (0,47 y 1 log UFC/100 mL) en época seca y, entre 8 y 72 UFC/100 mL (0,95 y 1,86 log UFC/100 mL) en época lluviosa, sin embargo, se superó el valor de referencia propuesto por la OMS (2003) en la estación Punta Astillero en la época lluviosa.

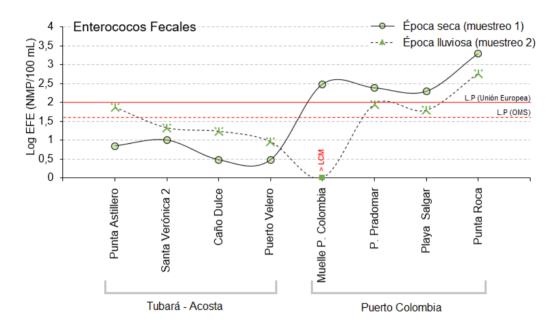


Figura 8-9. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Atlántico, en época seca (Muestreo 1 – febrero y marzo) y época lluviosa (Muestreo 2 – Mayo) del 2022. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL). Línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL). L.P: Limite Permisible.

En el tercer muestreo del 2022, en todas las estaciones REDCAM donde se analizó CTT y CTE, las concentraciones de CTE y CTT superaron los límites permisibles para 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 la estación P. Pradomar (donde las CTT, estuvieron por debajo del límite permisible para contacto primario) (Figura 8-10). A pesar de evidenciar la recurrencia a la mala calidad del agua, en noviembre 2022 las concentraciones máximas de CTE y CTT fueron de 16.000 NMP/100 mL, lo cual en comparación con lo reportado en el muestreo de febrero-marzo y mayo del 2022, donde se presentaron concentraciones de CTE hasta de 92.000 NMP/100 mL (muestreo en mayo 2022) y 160.000 NMP/100 mL de CTT (muestreo febrero-marzo 2022) reportado en INVEMAR-CRA (2022), refleja la variabilidad a la

que se enfrentan las aguas marino-costeras del departamento con tendencia a la mala calidad con fines recreativos.

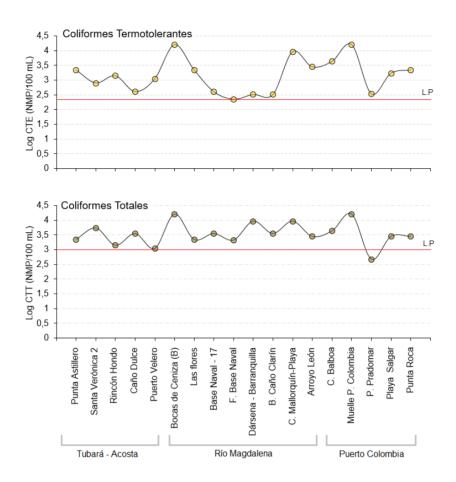


Figura 8-10. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Atlántico, en época lluviosa (Muestreo 3 – noviembre) del 2022. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permisible.

En el caso de los EFE, en todas las estaciones las concentraciones estuvieron por debajo del límite permisible propuesto por la Unión Europea (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 que representa un riesgo >1% y de 0,3% de contraer enfermedades gastrointestinales y respiratoria febril aguda respectivamente en las estaciones Punta Astillero, Santa Verónica, Puerto Velero de la zona Tubará – Acosta y Punta Roca de la zona Puerto Colombia (Figura 8-11). Estos resultados contrastados con las altas concentraciones de CTE, evidencian la incidencia de contaminación fecal. Por tanto, se recomienda realizar estudios que contemplen el análisis del ADN ambiental para fortalecer el conocimiento sobre los microorganismos presentes en estas áreas, donde se presentan descargas de aguas



residuales domésticas y determinar la composición microbiana en las aguas marinocosteras del Atlántico.

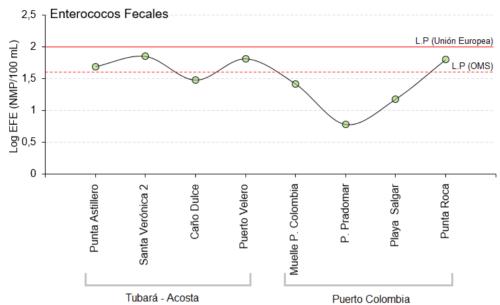


Figura 8-11. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Atlántico, en época lluviosa (Muestreo 3 – noviembre) del 2022. Línea roja: valor de referencia el valor de referencia (límite permisible) de 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL). Línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL). L.P: Limite Permisible.

Las estaciones P. Salgar, P. Pradomar y Muelle P. Colombia tienen un comportamiento histórico con niveles de cumplimiento medio y bajo en concentraciones de CTE y CTT; sin embargo, en los últimos tres años las concentraciones han presentado niveles de cumplimiento bajo, con excepción del año 2019 para la estación P. Salgar, donde se registró un nivel de cumplimiento alto (Figura 8-12). Por otra parte, en las estaciones P. Salgar, P. Pradomar y Muelle P. Colombia, los niveles de cumplimiento de las concentraciones de EFE se han mantenido entre un nivel bajo desde el año 2018 hasta la actualidad (Figura 8-12). Estos resultados, reflejan la dinámica costera por el desarrollo de las actividades turísticas que se presentan en las playas del departamento del Atlántico y los vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento previo (INVEMAR, 2018).

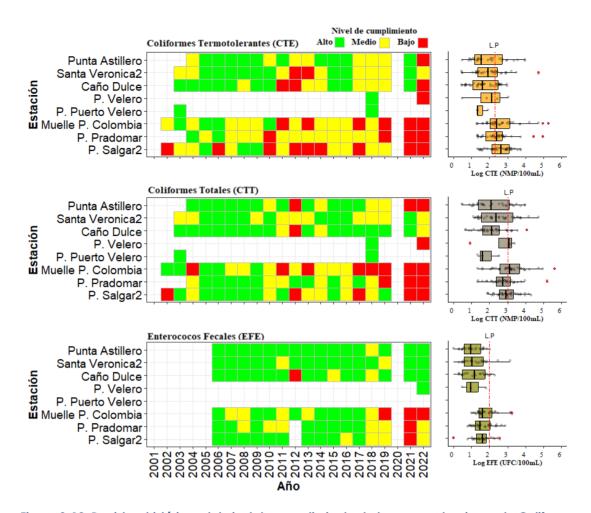


Figura 8-12. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Atlántico. La escala de valoración del nivel de cumplimento corresponde a: 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% (>=50y < 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.

En cuanto a los metales disueltos en agua medidos en el primer semestre del año 2022, cromo hexavalente (Cr<sup>+6</sup>) y mercurio (Hg) estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método (LCM) analítico implementado por el LABCAM. En el segundo semestre, 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) y hierro (Fe) por debajo del valor de referencia para efectos crónicos (>120 y >1,000 μg/L respectivamente; Buchman, 2008). Mientras que, para el resto de metales disueltos, todos los valores estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico empleado en el LABCAM (Cd= 2,5 μg Cd/L, Cu= 2,5 μg Cu/L, Cr= 100 μg Cr/L, Cr<sup>+6</sup>= 5 μg Cr<sup>+6</sup>/L, Hg= 0,3 μg Hg/L, Ni= 7,5 μg Ni/L y Pb= 12,5 μg Pb/L) (Figura 8-13).



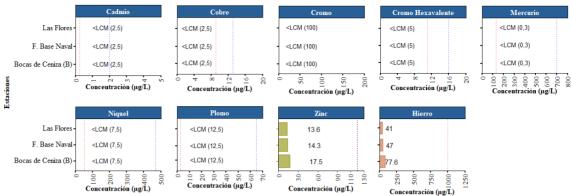


Figura 8-13. Concentración de metales disueltos en agua en las estaciones de agua dulce del departamento del Atlántico, colectadas en noviembre del 2022. Los valores de referencia para efectos crónicos y efectos agudos se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). Las líneas verticales rojas representar los valores de referencia para efectos crónicos y las de color azul para efectos agudos. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.

En relación a los metales disueltos en agua marina/estuarina, en las estaciones (Punta Roca, P. Velero, C. Mallorquín-Playa y Arroyo León), se registraron concentraciones de Zn por debajo de del valor de referencia para efectos crónicos (>81 µg Zn/L; Buchman, 2008). Adicionalmente, en la estación Arrovo León se reportó un valor de Fe de 27,8 µg Fe/L (Figura 8-14). Mientras que, para el resto de metales disueltos en aqua marina/estuarina en las demás estaciones, todos los valores estuvieron por debajo del límite de cuantificación empleado en el LABCAM (Cd= 2,5 µg Cd/L, 2,5 μg Cu/L, 100 μg Cr/L, 5 μg Cr+6/L; 0,3 μg Hg/L, 7,5 μg Ni/L, 12,5 μg Pb/L, 5 μg Zn/L y 12,5 μg Fe/L).

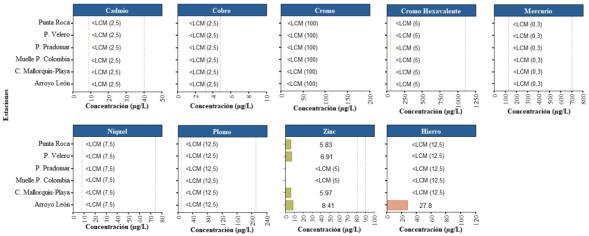


Figura 8-14. Concentración de metales disueltos en agua marina recopilados en noviembre del año 2022, en el departamento del Atlántico. Los valores de referencia para efectos crónicos y efectos agudos se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para agua marina. Las líneas verticales rojas representar los valores de referencia para efectos crónicos y las de color azul para efectos agudos. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.

104

#### 8.2 Calidad sedimentos marinos y costeros

Los análisis de granulometría en las muestras de sedimento colectadas en la estación Base Naval-17 en la época seca (muestreo 1), mostraron un contenido de 76,6% de lodo y 23,4% de arena (Figura 8-15). Teniendo en cuenta la metodología de Folk y Ward (1957), la muestra de sedimento se clasificó como tipo lodoso, específicamente limo grueso, con un diámetro de partícula de 22,34 µm.

Por otra parte, la muestra de sedimento colectada en la estación P. Velero, mostró un mayor porcentaje de arena (98,6%) (Figura 8-15). Esta estación se clasificó como tipo arena fina, con un diámetro de partícula de 134,9 µm, contenido similar al reportado en el periodo 2019 en la misma zona (INVEMAR, 2022).

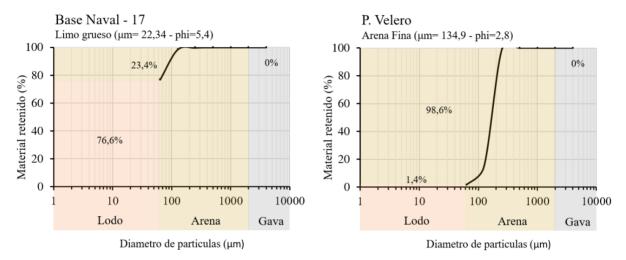


Figura 8-15. Curva granulométrica de las muestras de sedimentos recopiladas en el 2022 (febrero y marzo), en la estación Base Naval-17 y Puerto Velero en el departamento del Atlántico.

En la época lluviosa del tercer muestreo realizado en noviembre, las muestras de sedimento colectadas en la estación Base Naval – 17, mostraron un contenido de 19,4% de lodo y 80,38% de arena (Figura 8-16), la muestra de sedimento se clasificó como tipo de arena muy fina, con un diámetro de partícula de 88,37 µm (Figura 8-17); lo cual contrasta con lo reportado históricamente desde el año 2014, donde el tamaño medio del grano ha sido menor a 63 µm (INVEMAR, 2022).

Asimismo, la muestra de sedimento colectada en P. Velero, mostraron un contenido de 13,4% de lodo y 86,48% de arena (Figura 8-16). la muestra de sedimento se clasificó como tipo arena fina, con un diámetro de partícula de 141 µm (Figura 8-17), contenido similar a los reportados en los últimos años (INVEMAR, 2022).



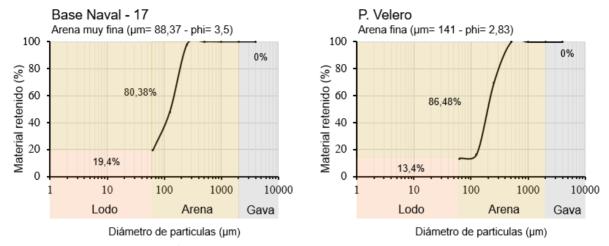


Figura 8-16. Curva granulométrica de las muestras de sedimentos recopiladas en el 2022 (noviembre), en la estación Puerto Velero y Base Naval-17 en el departamento del Atlántico.

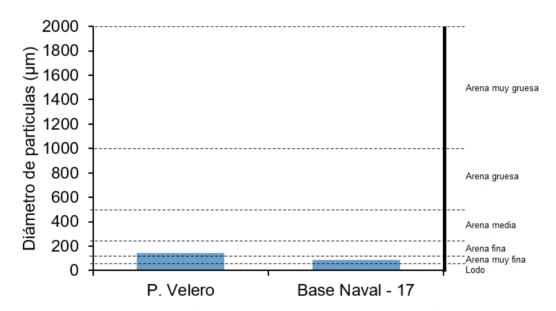
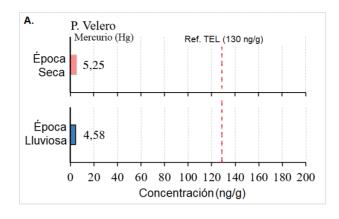


Figura 8-17. Tamaño medio de partícula del sedimento (µm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en noviembre del año 2022, en el departamento del Atlántico. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

En la estación P. Velero, la concentración de Hg fue de 5,25 y 4,58 ng Hg/g en época seca y lluviosa respectivamente (Figura 8-18 A), cuyos valores se encuentran muy por debajo del límite de referencia de efectos umbral (TEL= 130 ng Hg/g) para sedimentos marinos propuesto por la NOAA (<u>Buchman, 2008</u>). Para la muestra de sedimento recolectada en la estación Base Naval-17, en el río Magdalena, se registró una concentración de Hg de 97,8 ng Hg/g en época seca y 81,7 ng Hg/g en época lluviosa (Figura 8-18 B).



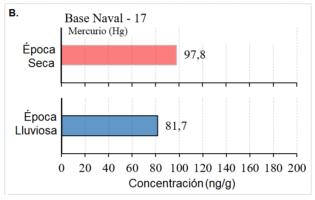


Figura 8-18. Concentraciones de mercurio (Hg) de las muestras de sedimentos recopiladas en época seca (Muestreo 1 – febrero y marzo) y época lluviosa (Muestreo 2 – mayo) del 2022, en el departamento del Atlántico A: muestra de sedimento de agua marina y B: muestra de sedimento de agua dulce. El valor de referencia TEL (130 ng Hg/g) corresponde a muestras de sedimentos de agua marina.

En el muestreo de noviembre del 2022 (época lluviosa), las mayores concentraciones se registraron en la estación Base Naval – 17 (Figura 8-19), con registros por encima de valor de referencia para efectos lumbral (TEL), para Cr 55,9 μg Cr/g (<u>Buchman, 2008</u>) y para Fe 31,3 mg Fe/g; las concentraciones de Cu, Hg y Zn estuvieron por debajo del valor de referencia TEL. En la estación P. Velero, la concentración de Fe fue de 15,5 mg Fe/g, las concentraciones de Hg (8,41 ng Hg/g) y Zn (65,2 μg Zn/g) estuvieron por debajo del valor TEL (<u>Buchman, 2008</u>) (Figura 8-19), y las concentraciones de Cd, Cu, Cr, Ni y Pb estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM (Cd= 12,5 μg Cd/g, 5 μg Cu/g, 25 μg Cr/g, 75 μg Ni/g y 15 μg Pb/g).

Estos resultados se encuentran dentro del margen de los registros reportados desde el año 2018 de Cr entre 32,2 y 87,3 µg Cr/g y Hg entre 55,1 ng Hg/g y 111 ng Hg/g en la estación Base Naval – 17 (INVEMAR-CRA, 2022), condición que podría asociarse al arrastre de sedimentos del río Magdalena en toda su extensión, el cual presenta un transporte de 94.376,2 kton/año (IDEAM, 2019b). De modo que es necesario evaluar la disponibilidad de los metales desde la cuenca alta hasta la desembocadura en Bocas de Ceniza.



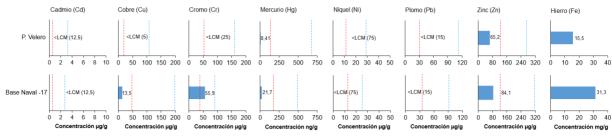


Figura 8-19. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos (P. Velero) y fluviales (Base Naval – 17) recopilados en noviembre de 2022 (época lluviosa) en el departamento del Atlántico. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (<u>Buchman, 2008</u>) 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.

# 8.3 Contaminación por basura marina y microplásticos en playas turísticas

La determinación de la contaminación por basuras marinas y microplásticos se realizó en las 6 playas turísticas priorizadas del departamento del Atlántico, Punta Astillero, Santa Verónica, Caño Dulce, Puerto Velero, Puerto Colombia y Salgar. En el primer y segundo muestreo, la concentración de basura marina fue mayor en la época seca (0,44 y 10,51 ítems/m²) en comparación con la época lluviosa (0 y 6,16 ítems/m²) (Figura 8-20). Sin embargo, este comportamiento no está relacionado con las épocas climáticas, ya que, al momento de realizar la salida de campo en época lluviosa, se observaron actividades de recolección de recicladores en las estaciones de Punta Astillero y Santa Verónica, recolección de basura que corresponde a la ampliación de cobertura del Programa de limpieza de playas costeras y ribereñas de la empresa prestadora del servicio de aseo Triple A S.A. E.S.P. (2020) y a las actividades de limpieza realizada por los comerciantes que prestan sus servicios turísticos en las playas Caño Dulce, Salgar, Puerto Velero y Salgar.

Las estaciones en las playas Salgar, Santa Verónica y Puerto Colombia, presentaron concentraciones máximas en época seca de 2,53; 2,07 y 1,38 ítems/m², concentraciones comúnmente encontradas en playas turísticas; En la estación Punta Astillero, en la época seca se registró una concentración de 10,51 ítems/m², valor que se encuentra por debajo de los reportados en otras playas turísticas del Caribe, como las playas Bahía Concha y Taganga, ubicadas en el departamento del Magdalena, en las cuales se han registrado concentraciones de 14 y 21 ítems/m² respectivamente (Garcés-Ordóñez et al., 2020b).

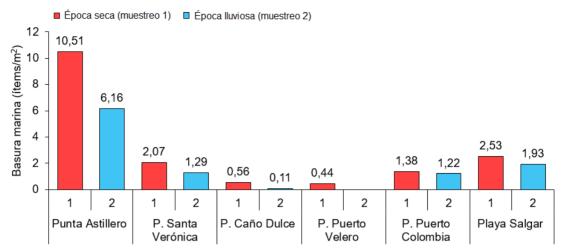


Figura 8-20. Abundancia de basuras marinas en las playas turísticas del departamento del Atlántico, registradas en los muestreos realizados en las épocas seca (febrero-marzo) y lluviosa (mayo) del 2022.

Entre los materiales de basura marina encontrados en la época seca de 2022, los plásticos se destacaron por su presencia en todas las playas; mientras que el metal y el papel fueron abundantes en las playas Puerto Velero, Caño Dulce y Santa Verónica, respectivamente, seguido de los plásticos (Figura 8-21). En la época lluviosa de 2022, la proporción de plásticos en todas las estaciones aumentó casi que en su totalidad en las estaciones Playa Salgar, Puerto Colombia, Punta Astillero y Santa Verónica, manteniéndose como el material más abundante en las playas evaluadas, a excepción de Puerto Velero que no presento basura marina en época lluviosa (Figura 8-21). Los plásticos, por sus características de resistencia, flexibilidad, flotabilidad y bajo peso, pueden ser fácilmente transportados por acción de las corrientes marinas y vientos que facilitan su acumulación en las playas.



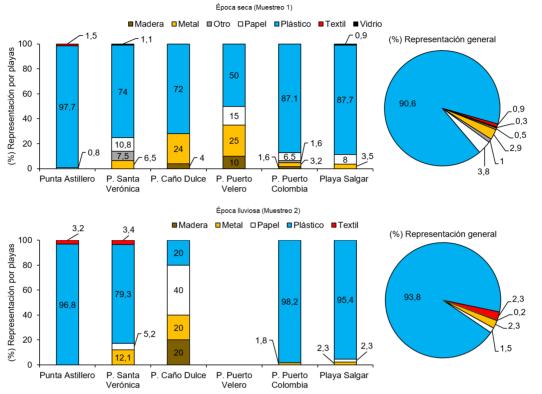


Figura 8-21. Porcentajes de representación de los diferentes materiales o tipos de basura marina según (OSPAR, 2010) en las 6 playas priorizadas del departamento del Atlántico priorizadas.

En el segundo semestre, las abundancias de basura marina oscilaron entre 0,2 ítems/m² y 7,64 ítems/m². Las mayores abundancias se presentaron en playa Punta Astillero (7,64 ítems/m²) y playa Santa Verónica (2,56 ítems/m²) (Figura 8-22). Estos resultados se asocian al desarrollo del turismo tradicional con actividad comercial recurrente, los cuales son fuentes de basura marina, situación similar a lo reportado en primer semestre por INVEMAR-CRA (2022), presentándose las mayores concentraciones en temporadas altas de turismo.

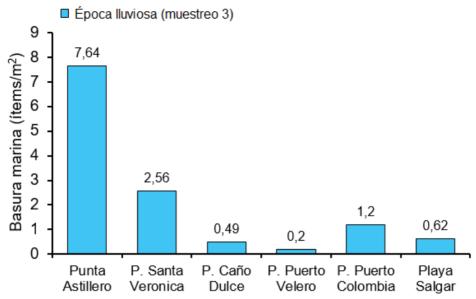


Figura 8-22. Abundancia de basura marina en las playas turísticas priorizadas del departamento del Atlántico, registrada en los muestreos realizados el 30 de noviembre de 2022.

Entre los materiales de basura marina registrados se destacaron los plásticos constituidos por bolsas, tenedores desechables, tapas, palillos de golosinas, pitillos y vasos desechables, de los cuales se registraron en total 530 ítems, representando el 92,7% del total de muestras recolectadas, en todas las playas (Figura 8-23). El 7,3% corresponde a la basura marina de tipo metal, representada por tapas, fragmentos de alambre, argollas de lata, encontrados en las playas Santa Verónica, Caño Dulce y Salgar; además se encontraron colillas de cigarrillos y fragmentos de servilletas.

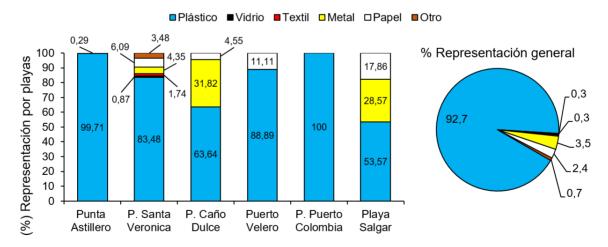


Figura 8-23. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de basura marina en las playas turísticas del Atlántico, evaluadas en los muestreos realizados el 30 de noviembre de 2022.



En cuanto a los microplásticos (partículas de plásticos menores a 5 mm), en el muestreo del primer semestre en la época seca 2022, las abundancias en la arena de playa oscilaron entre 27,2 y 3.657,6 ítems/m² y en la época lluviosa oscilaron entre 14,4 y 374,4 ítems/m² (Figura 8-24). Las playas con mayor contaminación por microplásticos en la época seca fueron Punta Astillero, Salgar, Caño Dulce y Santa Verónica. El comportamiento de la abundancia de microplásticos en las playas estudiadas, mostró un patrón relacionado las estaciones que presentaron las mayores abundancias de basura marina.

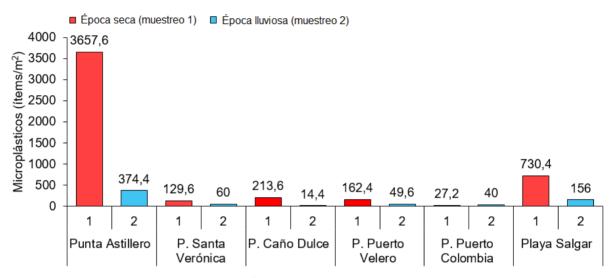


Figura 8-24. Concentraciones de microplásticos en las muestras de arena de las 6 playas priorizadas del departamento del Atlántico recolectadas en la época seca y lluviosa de 2022.

Las formas de los microplásticos más abundantes fueron los fragmentos, filamentos y espumas (Figura 8-25), todas estas formas de microplásticos corresponden al origen secundario, producidos por la fragmentación de plásticos de mayor tamaño, por lo que se relacionan con la inadecuada disposición de residuos sólidos tipo envolturas de mecatos, envases desechables de icopor y bolsas de agua, producto de las actividades antrópicas que se desarrollan en el sitio y desechos plásticos (envases de shampoo, botellas de bebidas, juguetes, cintas de amarre y fragmentos de plástico en general) que pueden haber sido transportados por el río Magdalena hacia las zonas costeras, donde son dispuestos y trasportados a través de las corrientes oceánicas llegando hasta las playas priorizadas del departamento del Atlántico (Hidalgo-Ruz & Thiel, 2013).

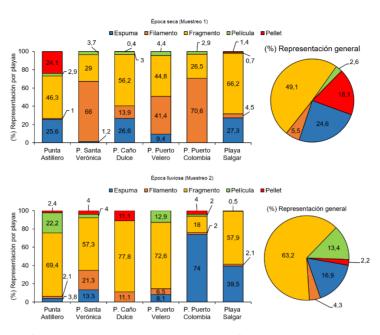


Figura 8-25. Proporción de los tipos de forma de microplásticos en las muestras de arena de las 6 playas priorizadas del departamento del Atlántico recolectadas en la época seca y lluviosa del 2022.

En el segundo semestre del 2022, las abundancias oscilaron entre 2,4 y 235,2 ítems/m² (Figura 8-26). Las mayores abundancias se presentaron en la estación Punta Astillero con 235,2 ítems/m², compuestas por microplásticos de origen secundario como las espumas, fragmentos y pellets (Figura 8-27) que provienen del manejo inadecuado de residuos municipales, las actividades de pesca y el turismo (INVEMAR-CRA, 2022); mientras que la estación que presentó menor abundancia fue playa Caño Dulce con 2,4 ítems/m² (Figura 8-26).

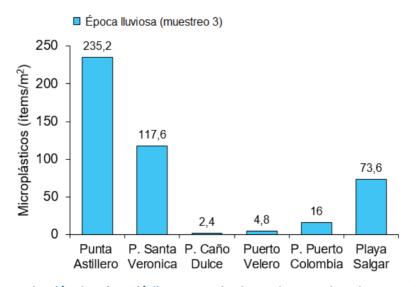


Figura 8-26. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas del Atlántico, colectadas en noviembre de 2022 (época lluviosa).



Las formas de los microplásticos más abundantes fueron las espumas, los fragmentos y filamentos, y en menores concentraciones las películas y pellets (Figura 8-27). La mayoría de estas formas de microplásticos son de origen secundario, provenientes de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño. Adicionalmente, se registraron microplásticos primarios (pellets) en Punta Astillero (6,8%) y Santa Verónica (4,08%), lo cual está asociado al arrastre de sedimentos del río Magdalena que influye en toda la dinámica marino-costera en el departamento de Atlántico y al manejo y disposición inadecuados de los residuos, lo cual favorece la dispersión de microplásticos primarios que se acumulan principalmente en la playa Punta Astilleros (INVEMAR-CRA,2022).

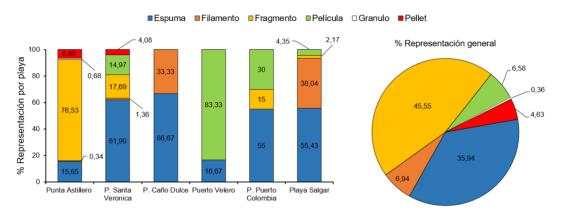


Figura 8-27. Porcentajes de representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playa del Atlántico, colectadas el 30 de noviembre de 2022.

La presencia de microplásticos de origen secundario ha sido reportada en otras playas turísticas de Colombia, los cuales provienen de las mismas fuentes de contaminación tales como actividades de pesca y acuicultura, el turismo, manejo inadecuado de residuos sólidos y materiales que son transportados por los vientos, corrientes y escorrentías hasta las playas (Garcés-Ordóñez et al., 2020b). Además, la ocurrencia de microplásticos de origen primario (pellets y gránulos) podrían asociarse al deficiente manejo de residuos y al arrastre de sedimentos del río Magdalena que influye en toda la dinámica marino-costera en el departamento del Atlántico, facilitando la dispersión y acumulación de microplásticos particularmente en playa Punta Astillero. A pesar de que estos resultados son menores a los reportados en el primer semestre del año 2022 (muestreos de febrero-marzo y mayo; INVEMAR-CRA, 2022), es evidente que prevalece la contaminación por microplásticos en las playas turísticas del Atlántico, lo cual se asocia a las actividades de comercio y consumo que demandan los visitantes de las playas.

### 8.4 Conclusiones y recomendaciones

- El análisis del ICAMPFF por estaciones, mostró que las estaciones Bocas de Ceniza, Muelle Puerto Colombia, Playa Salgar, playa Pradomar y Rincón Hondo mantienen condiciones de calidad del agua marina entre inadecuada y pésima, debido a las altas concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales y Coliformes Termotolerantes, las cuales predominan tanto en época seca como época lluviosa. Lo que refleja, incidencia de fuentes de contaminación directas y difusas que deben ser caracterizadas.
- En la época lluviosa, en la estación Rincón Hondo, ubicada en la zona de Tubará-Acosta, se presentaron condiciones desfavorables de calidad del cuerpo de agua, con niveles altos de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y carbono orgánico total (COT). Se recomienda realizar un seguimiento enfatizado a la calidad microbiológica y orgánica en arenas y aguas, lo que permitirá identificar las mayores incidencias de contaminación, y generar insumos para tomar acciones para mejorar la calidad ambiental de la zona.
- Las concentraciones de metales (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, señalan que estos metales tienen baja probabilidad de ser tóxicos y producir efectos adversos en los organismos acuáticos allí presentes. Asimismo, el mercurio total medido en sedimento en P. Velero y Base Naval-17 no representan riesgo alguno para los organismos, ya que los valores registrados se encuentran por debajo del límite de referencia de efectos umbral (TEL) propuestos por la NOAA. Sin embargo, es necesario determinar las causas de la concentración de Cr, la cual se encontró por encima de los valores de referencias TEL, situación que ha sido reportada en año anteriores.
- La presencia de microplásticos en la arena de las 6 playas turísticas muestreadas en el departamento del Atlántico en el año 2022, evidencia contaminación por microplásticos de origen primario y secundario; presentándose mayores abundancias en playa Punta Astillero, como consecuencia de la incidencia del río Magdalena y las actividades antrópicas que se desarrollan en la zona marino-costera del departamento del Atlántico. Por lo tanto, es importante identificar las fuentes de contaminación por microplásticos y el comportamiento y transporte de este contaminante emergente; para proponer estrategias de manejo adecuado que brinden soluciones integrales a esta problemática.



### 9. DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR

El departamento de Bolívar se encuentra en el Caribe colombiano y su zona costera está conformada por los municipios de Cartagena y Santa Catalina, donde habitan aproximadamente 1.065.570 personas (<u>DANE, 2021</u>). Este departamento cuenta con ecosistemas marinos de arrecifes coralinos de las islas de Rosario y San Bernardo, playas, manglares, humedales costeros y pastos marinos (<u>IDEAM et al., 2007</u>).

La Bahía de Cartagena consta de una bahía externa conectada con el mar Caribe a través de dos bocas (Bocachica y Bocagrande) y una bahía interna en la parte norte, que no se encuentra comunicada directamente con el mar (<u>Cañón et al., 2007</u>). El Canal del Dique es el principal tributario de aguas continentales a la zona costera de este departamento.

Esta es una de las zonas de mayor interés debido a los distintos problemas ambientales derivados de la contaminación. Las principales fuentes contaminantes son las actividades industriales, turismo tradicional, marítimas portuarias, agropecuarias y residuos de las poblaciones de Cartagena (Figura 4-14; <u>Troncoso et al., 2009</u>).

En el departamento de Bolívar, la calidad del agua marina y costera se encuentra influenciada por vertimientos de aguas domesticas 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 aumentado, por lo que ha sido necesario realizar dragados para continuar con la navegabilidad en la bahía. Adicionalmente, la Bahía de Cartagena presenta grandes aportes de aguas continentales a través del Canal del Dique (Cañón et al., 2007), los cuales traen consigo altas cargas de sedimentos que influyen en la calidad ambiental de la bahía, afectando los ecosistemas presentes en esta área (Tosic et al., 2017).

En el departamento de Bolívar, la REDCAM tiene 42 estaciones de muestreo, distribuidas en cinco zonas (Figura 9-1 Figura 6-1). La zona Costa Norte donde se encuentran playas y el emisario submarino de Punta Canoa; la zona Bahía Afuera, en la cual se encuentran las estaciones de playas turísticas de la ciudad de Cartagena, la zona Bahía de Cartagena que está conformada por las bahías interna y externa, desemboca el Canal del Dique y recibe aguas residuales de la industria de Mamonal; la zona Bahía de Barbacoas donde también desembocan caños conectados al Canal del Dique; y la zona de las Islas, que comprende las islas del Rosario y la isla áreas coralinas Barú. donde hay de aran importancia ambiental (Alonso\_et\_al.,\_2015).



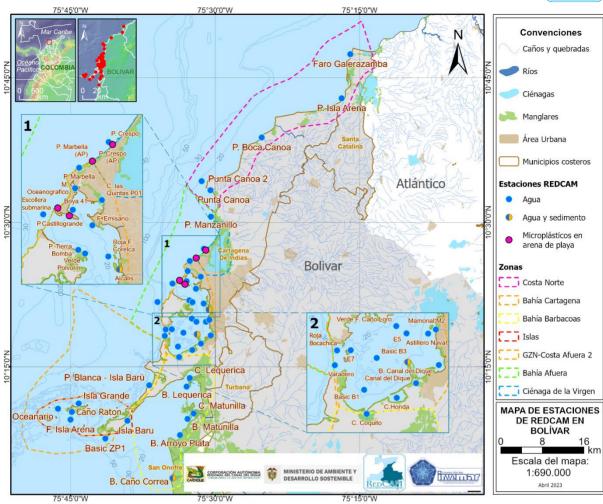


Figura 9-1. Mapa con las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Bolívar. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial y los puntos rosados corresponden a estaciones donde se muestrea microplásticos en arena de playa. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

### 9.1 Calidad de aguas marinas y costeras

### 9.1.1 Calidad de agua para la preservación y protección de flora y fauna

Los análisis históricos (2001 a 2022) de salinidad para las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, permitieron clasificar los tipos de agua en marinas, estuarinas y dulces, según los rangos para tipo de agua establecidos por Knox (2001). Las aguas del 74% de las estaciones REDCAM de las zonas Costa Norte, Bahía Afuera, Bahía de Cartagena, Barbacoas y Rosario se calificaron como agua marina, el restante 18% de las estaciones se clasificó como agua estuarina (n=6) y el 8% como agua dulce (n=3) (Figura 9-2). Las estaciones Astillero Naval y B. Caño Correa se clasificaron como aguas estuarinas (salobre) en la época lluviosa, debido a la influencia por los aportes del Canal del Dique y escorrentías de la Ciénaga Honda respectivamente; y como aguas marinas en la época seca.

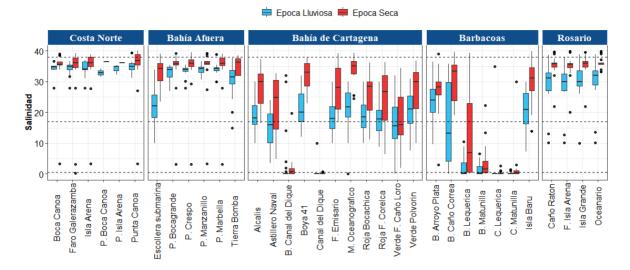


Figura 9-2. Gráfico de caja de la variación histórica (2001-2022) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los 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).

Para el año 2021, la estimación del ICAM<sub>PFF</sub> se realizó con la información recolectada en los muestreos del mes de abril (época seca) realizado por INVEMAR. El ICAM<sub>PFF</sub>, se pudo estimar en 8 estaciones, distribuidas en Bahía Afuera, Bahía de Cartagena, Barbacoas y Rosario. El 50% de las estaciones evaluadas estuvieron en calidad aceptable (P. Castillogrande, F. Emisario, P. Tierra Bomba y Álcalis); un 38% en calidad adecuada (C. las Quintas P01, P. Blanca- Isla Barú y F. Isla Arena) y un 12% en calidad óptima (P. Marbella). No se presentaron estaciones con calidad pésima (Figura 9-3).

El análisis detallado por estaciones mostró para el año 2021 que las estaciones de las zonas Bahía Afuera, Barbacoas y Rosario presentaron condiciones de calidad adecuada y óptima, debido a que estas estaciones se encuentran más alejadas de la incidencia de aportes de aguas continentales. Adicionalmente, hubo un aumento de sitios con condiciones de calidad del agua aceptable en las estaciones F. Emisario y Álcalis, en las cuales en el año 2019 se presentaron condiciones pésimas, de acuerdo al ICAMPFF calculado por CARDIQUE (Figura 9-3).

En las estaciones de la zona de la Bahía de Cartagena, se registró calidad aceptable; estas estaciones se encuentran bajo la influencia del Canal del Dique y vertimientos de aguas industriales y residuales (INVEMAR 2020a). En estas estaciones se encontraron concentraciones elevadas de nitritos y ortofosfatos, debido a las actividades industriales, tránsito marítimo y vertimientos de aguas servidas. Esta situación indica la urgencia de implementar acciones frente a las principales fuentes de contaminación que contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento de Bolívar.



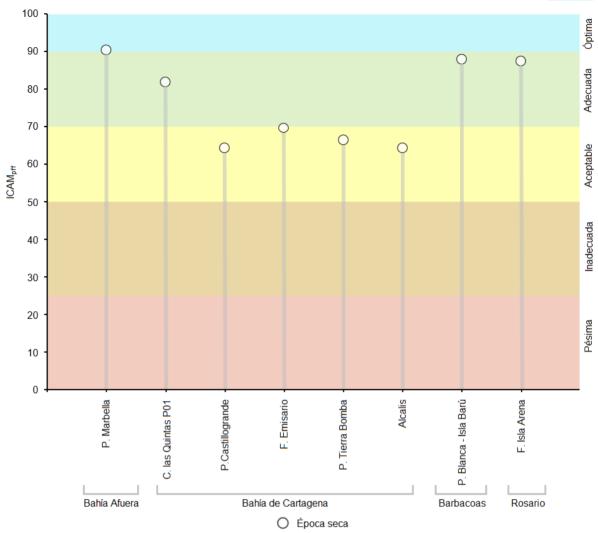


Figura 9-3. Calidad de agua superficial ICAM<sub>PFF</sub> para el año 2021, en las estaciones marinas y costeras del departamento de Bolívar.

En las estaciones ubicadas en la zona Costa Norte, Bahía Afuera, Bahía de Cartagena, Barbacoas y Rosario, se analizó el carbono orgánico total (COT). Las concentraciones estuvieron entre 0,62 y 3,45 mg/L (Figura 8 4). La mayor concentración se registró en C. Las Quintas P01 (3,45 mg COT/L) y B. Canal del Dique (2,06 mg COT/L), estaciones que presentan características estuarinas. Las estaciones en la zona Costa Norte, Bahía Afuera y Rosario presentaron registros por debajo del LCM del método usado en el LABCAM, con excepción de la estación Caño Ratón (0,79 mg COT/L) en esta última zona.

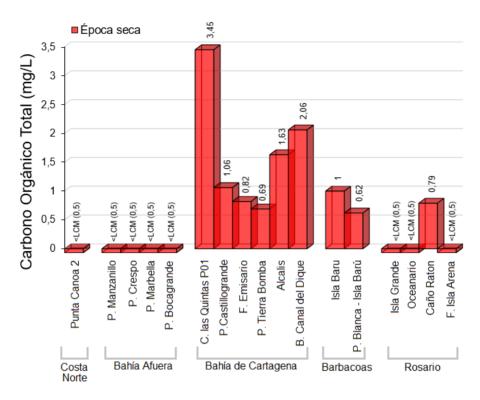


Figura 9-4. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en 2021 en el departamento de Bolívar. Barras rojas representan la época seca.

### 9.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas.

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 <u>Unión Europea (2006)</u> (<100 UFC/100 mL de EFE).

En el muestreo del año 2021, las estaciones de la zona Costa Norte, Bahía Afuera, Barbacoas, Rosario y Costa Afuera 2 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 9-5), con excepción de C. Matunilla y B. Matunilla para CTE y CTT y C. Lequerica para CTE en la zona de Barbacoas, las cuales estuvieron por encima del límite permisible. Así mismo, las estaciones ubicadas en Bahía de Cartagena (F. Emisario, Roja F. Corelca, Álcalis, Mamonal M2, E5, Astillero Naval, Basic B3, B. Canal del Dique, Mamonal M5 y Canal del Dique) presentaron valores por encima del límite permisible para contacto primario, con excepción de CTT en E5, la cual estuvo por debajo del límite permisible (Figura 9-5).



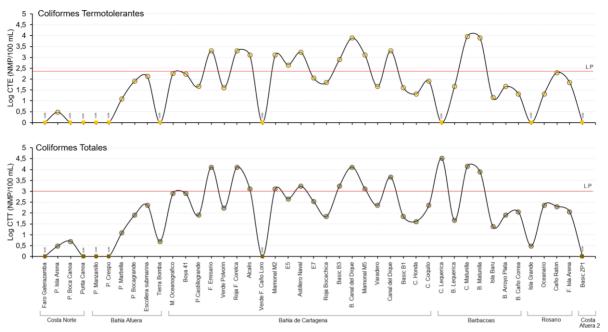


Figura 9-5. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Bolívar, muestreo del 2021. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permisible.

En el muestreo del año 2022, en las estaciones de la zona Costa Norte y Bahía Afuera, en las dos épocas climáticas, se registraron concentraciones de CTE y CTT por debajo del límite permisible para contacto primario (CTE=200 NMP/100 mL o 2,3 log NMP/100 mLy CTT=1.000 NMP/100 mL o 3 log NMP/100 mL) (Figura 9-6). En la época seca, en las estaciones ubicadas en Bahía de Cartagena (Mamonal M2, B. Canal del Dique, Mamonal M5 y Varadero), en Barbacoas (C. Lequerica, B. Lequerica, C. Matunilla y B. Matunilla) y en todas estaciones de Rosario y Costa Afuera 2, se registraron concentraciones de CTE y CTT por encima del límite permisible para contacto primario. En la época Iluviosa, en las estaciones ubicadas en Bahía de Cartagena (Mamonal M2, E5, Astillero Naval, E7, Mamonal M5, Canal del Dique y C. Honda), se registraron concentraciones de CTE por encima del límite permisible para contacto primario; y en las estaciones Mamonal M2, Astillero Naval, E7, B. Canal del Dique, Mamonal M5, Canal del Dique, C. Honda y C. Coquito, se registraron concentraciones de CTT por encima del límite permisible. En contraste, en las estaciones de la zona Barbacoas, Rosario y Costa Afuera 2, se registraron concentraciones de CTE por debajo del límite permisible, con excepción de la estación C. Leauerica en la zona de Barbacoas (Figura 9-6).

Estos resultados son similares a los registrados en las playas Pozos Colorados, Salguero y Neguanje, en el departamento del Magdalena, en las cuales las concentraciones de CTE y CTT son más altas en los meses de la época seca, debido a las temporadas altas de turismo (Reyes\_& Fontalvo\_2020).

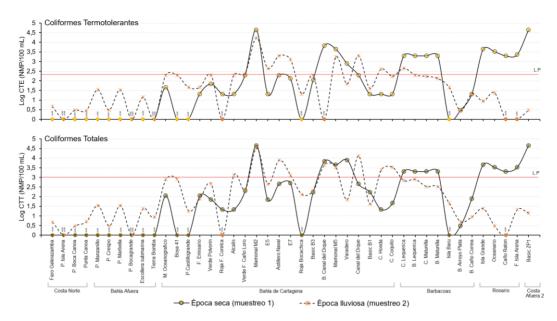


Figura 9-6. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Bolívar, muestreo del 2022. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE y 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT. L.P: Limite Permisible.

El análisis histórico (2001-2022) mostró que las estaciones han presentado niveles altos de cumplimiento, lo que indica que la calidad del agua es apta para uso recreativo de los bañistas (Figura 9-7). No obstante, durante el año 2010 el nivel de cumplimiento de la calidad microbiológica fue baja para CTE en las estaciones P. Bocagrande y P. Marbella; asimismo para EFE en las estaciones P. Bocaarande, P. Marbella, P. Crespo y P. Manzanillo. Resultados asociados a la época de muestreo, el cual fue posterior a la Semana Santa (Vivas-Aguas et al., 2010), cuando hay altas afluencias turísticas que contribuyen al incremento de las concentraciones microbianas en las playas (Sunderland et al., 2007). En el año 2022, las estaciones Caño Ratón e Isla Grande presentaron un nivel de cumplimiento medio para CTE y CTT (Figura 9-7). Este deterioro en la calidad microbiológica está relacionado con factores antrópicos persistentes que no tienen acciones de control eficientes, asociados a las actividades turísticas. Adicionalmente, en el mes de septiembre se presentaron lluvias moderadas (IDEAM, 2022b), lo cual contribuyó al arrastre y resuspensión de contaminantes hacia los cuerpos de agua, facilitando el ingreso de microorganismos CTE y CTT provenientes de aguas residuales e incrementando sus concentraciones en el agua (INVEMAR, 2022).



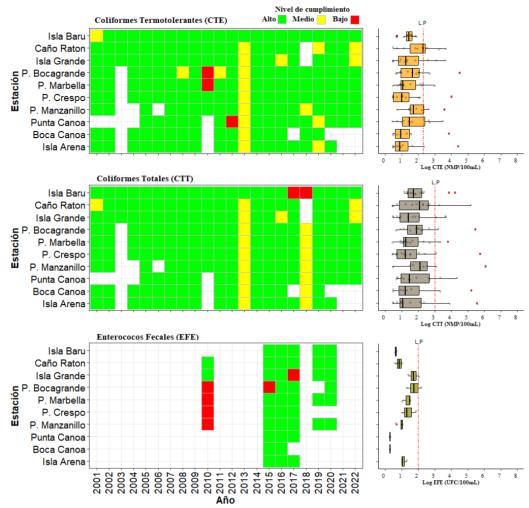


Figura 9-7. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Bolívar. La escala de valoración del nivel de cumplimento corresponde a: Alto, 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.

### 9.2 Calidad sedimentos marinos y costeros

En sedimentos de las estaciones Álcalis, B. Canal del Dique y B. Caño Correa, colectados en la época seca del año 2022, el contenido de materia orgánica (MO) osciló entre 5,8 y 12 mg/g, siendo la estación Álcalis la que presentó mayores registros (12 mg/g), seguida de B. Caño Correa (7,69 mg/g) y B. Canal del Dique (5,8 mg/g) (Figura 9-8). Estos valores son mayores a los reportados por INVEMAR (2022) entre los años 2014 y 2017 para la época seca, los cuales se encuentran por debajo de 6 mg/g. Estas estaciones se encuentran influenciadas directamente por caños y la desembocadura del Canal del Dique, los cuales arrastran materia orgánica hacia la

zona costera (INVEMAR, 2022); adicionalmente, la dinámica de las corrientes y el efecto del viento durante la época seca y transición se dirigen principalmente hacia la zona más cercana al Canal del Dique (Restrepo et al., 2018), contribuyendo a la acumulación de materia orgánica en el sector. En contraste, en la época lluviosa se presentó el menor registro en la estación B. Caño Correa (4,44 mg/g); sin embargo este resultado fue mayor al registrado por INVEMAR (2022) para el año 2021, debido al aumento del cauce del caño Correa y el Canal del Dique, que transportan residuos orgánicos que son acumulados posteriormente en los sedimentos.

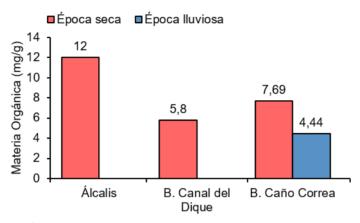


Figura 9-8. Materia Orgánica (mg/g) en muestras de sedimentos recopilados en el año 2022 en las estaciones REDCAM Bolívar.

En cuanto a la concentración de mercurio (Hg) las mayores concentraciones se registraron en la época seca del año 2022 en las estaciones B. Canal del Dique (203,8 ng Hg/g), Álcalis (49,5 ng Hg/g) y B. Caño Correa (48,22 ng Hg/g) (Figura 9-9), En la estación B. Canal del Dique la concentración de Hg estuvo por encima del valor de referencia TEL (130 ng Hg/g); en las otras dos estaciones las concentraciones de Hg estuvieron por debajo del valor de referencia TEL (Buchman, 2008). En la estación B. Caño Correa, en la época lluviosa se registraron concentraciones de Hg de 20,3 ng Hg/g, los cuales estuvieron por debajo del valor de referencia TEL (Buchman, 2008).

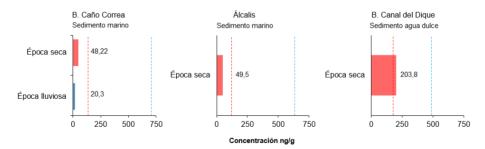


Figura 9-9. Concentración de mercurio (Hg) en sedimentos marinos/estuarinos y sedimentos de agua dulce recopilados en 2022 en el departamento de Bolívar. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (<u>Buchman, 2008</u>) para sedimentos marino/estuarino y sedimentos de agua dulce. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL.



A pesar de que en el año 2022 las concentraciones de Hg de la estación B. Caño Correa y Álcalis no superaron los valores de referencia TEL, en esta zona se ha registrado contaminación por Hg desde la década de los 70, procedente de las descargas de Hg en la Bahía de Cartagena por parte de la planta Álcalis de Colombia (Alonso et al., 2000), sin dejar a un lado los residuos generados por las industrias metalúrgicas que depositan sus desechos a las fuentes hídricas que desembocan en el Canal del Dique y los dragados del canal de acceso para continuar con la navegabilidad en la bahía (Montealegre & Mejía, 2015). Por otro lado, los valores encontrados en la estación B. Canal del Dique, los cuales sobrepasaron el valor de referencia TEL, podrían asociarse al tránsito de embarcaciones y la quema de combustibles fósiles (INVEMAR (2022)). En esta zona se presenta un aporte constante de Hg al ecosistema, el cual es transferido a los sedimentos por la dinámica de las corrientes de la Bahía de Cartagena que permiten la resuspensión de sedimentos en la columna de agua (Cogua et al., 2012).

### 9.3 Contaminación por microplásticos en playas turísticas

La concentración de microplásticos en la arena de seis playas turísticas del departamento de Bolívar, Playa Blanca, Playa Bocagrande, Playa Castillo Grande, Playa Crespo, Playa Marbella y Playa Punta Arena, osciló entre 4,8 a 748 ítems/m² (Figura 9-10). Las playas con mayor contaminación por microplásticos fueron Punta Arena con 748 ítems/m² y Castillo Grande con 246,4 ítems/m², debido a las actividades socio-económicas como la industria, puertos, comercio y turismo; cuyos valores se encuentran dentro del rango reportado por Garcés-Ordóñez et al. (2020a). Cabe resaltar que en Bolívar existe un alto desarrollo industrial y parte de su costa está directamente influenciada por la descarga de aguas continentales a través del Canal del Dique, que de acuerdo con Lebreton et al., 2017, descarga en el Mar Caribe un estimado de 16.700 toneladas de plásticos por año, lo cual facilita la dispersión de desechos plásticos y microplásticos, particularmente en la época lluviosa donde los niveles de escorrentía son mayores, favoreciendo el transporte de microplásticos hacia las zonas marino costeras.

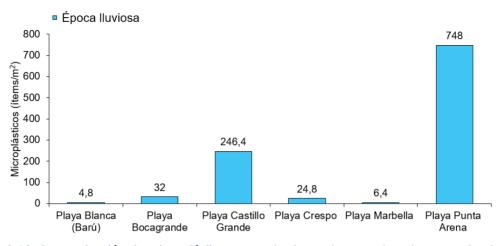


Figura 9-10. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playa de Bolívar, colectados en el muestreo realizado en abril (época lluviosa) de 2022.

Las formas más abundantes de microplásticos fueron tipo gránulo que son de origen primario; en Playa Punta Arena, la abundancia de este tipo fue de 52,3%, en Playa Bocagrande 27,5%, en Playa Blanca 16,67%, en Playa Castillo Grande 4,87% y en Playa Crespo 3,23%; seguido por fragmentos y espuma (Figura 9-11) que son de origen secundario, derivados por la descomposición de desechos plásticos de mayor tamaño (Yu et al., 2020) probablemente asociados al manejo inadecuado de residuos sólidos, turismo, industria y actividades de pesca (Lebreton et al., 2017; INVEMAR, 2018). El departamento de Bolívar ha sido considerado como foco de contaminación por microplásticos de origen primario (Acosta-Coley et al., 2019), debido a la industrialización, la cual es una de las principales causas de las altas concentraciones de microplásticos en el departamento; además, en la época lluviosa aumentan los niveles de escorrentía que favorecen su transporte hacia otras zonas y entierran estas formas de microplásticos en la arena, provocando su acumulación en estas áreas.

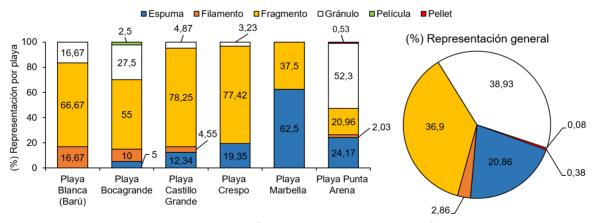
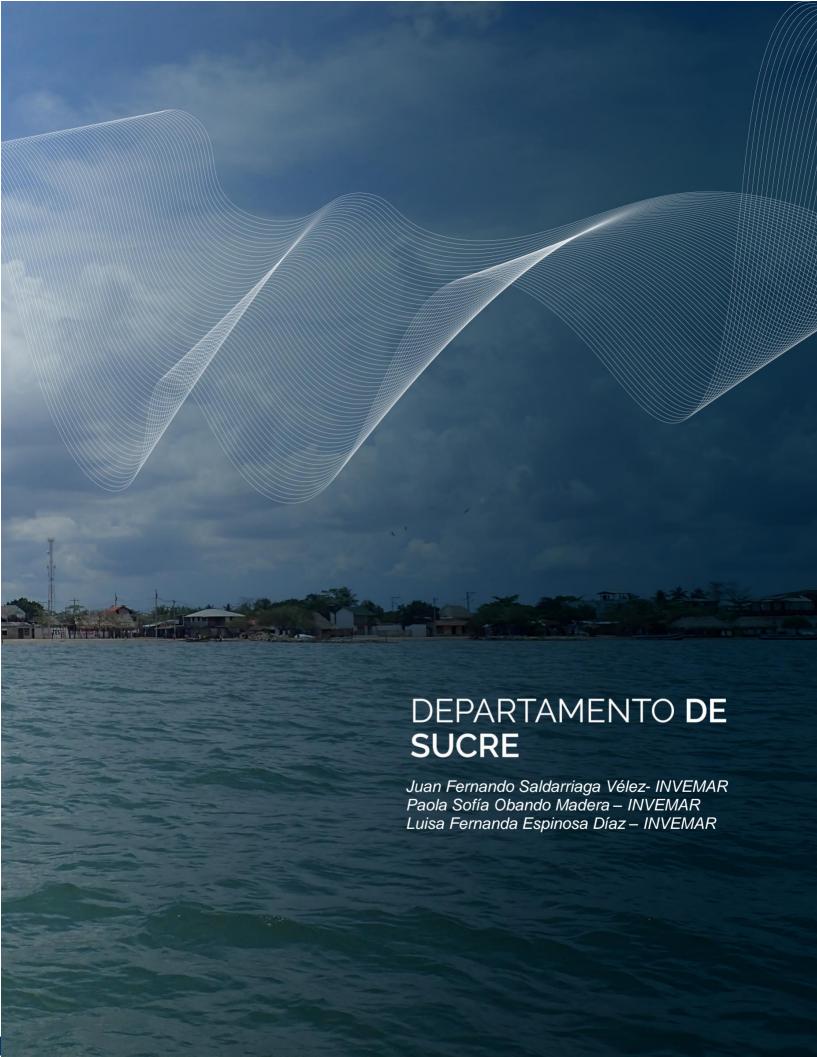


Figura 9-11. Porcentajes de representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas de Bolívar, colectadas en el muestreo realizado en abril (época lluviosa) de 2022.



### 9.4 Conclusiones y recomendaciones

- El análisis del ICAM<sub>PFF</sub>, mostró que, en la época seca del año 2021, el 50% de las estaciones tuvieron calidad aceptable, debido a las altas concentraciones de nitratos y ortofosfatos. El aumento de estos nutrientes, está relacionado principalmente con las descargas de residuos domésticos e industriales, por lo tanto, es necesario que las autoridades ambientales generen acciones de gestión sostenible para mitigar la presión que ejercen las múltiples fuentes contaminantes, las cuales provocan el deterioro de la calidad del agua.
- La calidad de 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) para uso recreativo de los bañistas, ha mantenido un comportamiento histórico favorable con concentraciones de CTE, CTT y EFE que cumplen con los criterios de calidad nacional y referentes internacionales. Estos resultados probablemente están asociados a que la mayoría de las playas están alejadas de la zona urbana, además existe sensibilización y promoción de buenas prácticas higiénico sanitarias por parte de entidades gubernamentales.
- En los sedimentos evaluados en el año 2022, en la estación B. Canal del Dique, se registraron concentraciones de Hg por encima del valor de referencia efectos umbral (TEL) propuestos por la NOAA; y en las estaciones B. Caño Correa y Álcalis las concentraciones de Hg estuvieron por debajo de los valores de referencias TEL. Estos resultados indican que a la Bahía de Cartagena sigue ingresando Hg y es necesario determinar las fuentes de contaminación de este metal, para tomar acciones preventivas y mitigar los impactos asociados a esta problemática.
- En las playas turísticas del departamento de Bolívar, Playa Blanca, Playa Bocagrande, Playa Castillo Grande, Playa Crespo, Playa Marbella y Playa Punta Arena, se registró contaminación por microplásticos, predominando el tipo gránulo (microplásticos primarios), provenientes de la actividad industrial; además de fragmentos y espuma que provienen de la descomposición de desechos de mayor tamaño. Es necesario desarrollar investigaciones que abarquen una mayor temporalidad para determinar las principales fuentes y transporte de microplásticos hacia estas zonas, teniendo en cuenta las temporadas de turismo, corrientes marinas y erosión costera.





### 10. DEPARTAMENTO DE SUCRE

El departamento de Sucre se encuentra en el Caribe colombiano y su zona costera abarca parte de los municipios de San Onofre, Santiago de Tolú y Coveñas, donde habitan aproximadamente ~104.742 habitantes (DANE, 2021). En el departamento se encuentran ecosistemas marino costeros como lagunas costeras, manglares, playas, pastos marinos y arrecifes coralinos, entre otros. El golfo de Morrosquillo es la apertura geográfica y extensión marina más importante en la zona, donde las playas y costas lodosas y las intervenciones antrópicas sobre la línea de costa (construcción de espolones, deforestación y extracción de arenas) son factores que favorecen el problema de erosión (Ricaurte-Villota et al., 2018).

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, principales fuentes de residuos contaminantes que impactan la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento de Sucre (Figura 4-14).

En Sucre, la REDCAM cuenta con 15 estaciones activas, de las 32 estaciones históricas monitoreadas hasta el año 2018, las cuales se distribuyen en tres zonas (Figura 10-1), la zona San Onofre que se extiende desde Matatigre hasta el islote Santa Cruz; la zona Golfo Afuera que tiene gran influencia de aguas marinas y actividades industriales de cargue y exportación de productos de pesca, cemento y combustibles; y la zona Tolú-Coveñas que comprende desde el golfo frente a Berrugas hasta el arroyo Villeros, y se caracteriza por la alta actividad turística y mayores aportes de aquadulce por los arroyos.

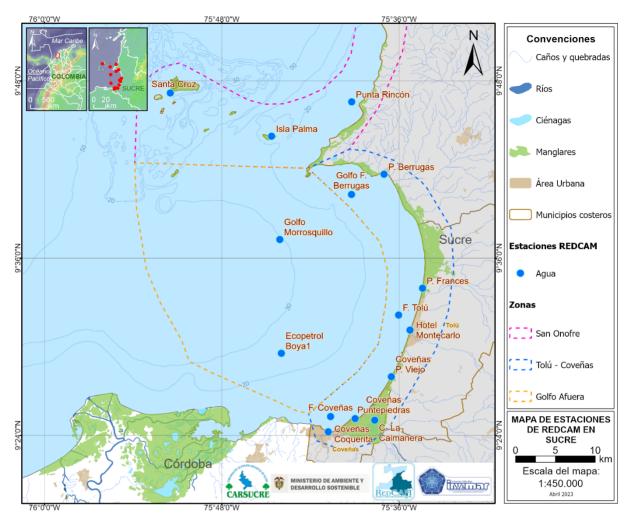


Figura 10-1. Mapa con las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Sucre. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

### 10.1 Calidad de aguas marinas y costeras

#### 10.1.1 Calidad de agua para la preservación y protección de flora y fauna

El comportamiento histórico de la salinidad en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, según la escala de salinidad del agua sugerida por Knox (2001), clasifica las aguas de todas las estaciones de las zonas San Onofre (Isla Palma, Matatigre, Punta Rincón, Santa Cruz) y Golfo Afuera (Ecopetrol Boya 1 y 2, Golfo 7, Golfo F. Francés, Golfo F. Pechelín, Golfo Morrosquillo) como agua marina (Figura 10-2). De las 21 estaciones de la zona Tolú – Coveñas, el 62 % (n=13) se clasificaron como agua marina durante ambas épocas climáticas, lo cual se puede relacionar con la ausencia de grandes aportes continentales en esta zona costera, ya que no hay presencia de grandes ríos, sino de pequeños caños y arroyos (INVEMAR, 2022).



En la representación boxplot, se evidencia el rango de distribución de los datos en las estaciones Arroyo Villeros, C. Alegría, C. Francés, C. Guacamayo, C, La Caimanera, C. Pechelín, y C. Zaragoza, principalmente durante la época lluviosa, lo cual indica una variación en los valores de salinidad que pueden estar influenciados por los aportes de agua dulce por parte de los caños y arroyos provenientes del ecosistema de manglar y que desembocan al mar (INVEMAR,2018). Complementariamente, las estaciones C. Alegría, C. Francés, C. Guacamayo, y C. Zaragocilla, donde está el ecosistema de manglar, se clasificaron históricamente como agua marina durante época seca y como agua estuarina durante época lluviosa (Figura 10-2), lo cual ratifica la influencia marcada por los aportes continentales a través de los pequeños caños y arroyos.

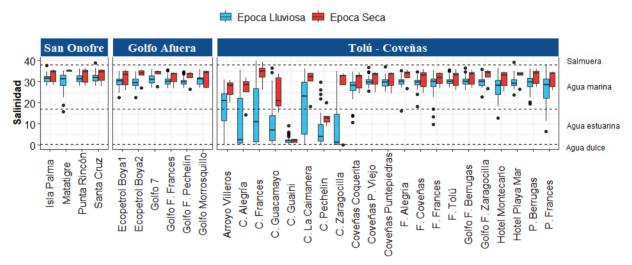


Figura 10-2. Boxplot de la variación histórica (2001 hasta 2021) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre, diferenciado por zona y época de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana 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).

En el año 2021, la estimación del ICAM<sub>PFF</sub> se realizó con la información recolectada en el muestreo de mayo (época lluviosa), mientras que, en el año 2022 la estimación del ICAM<sub>PFF</sub> se llevó a cabo con las muestras recolectadas en el mes de abril (época seca) (Figura 10-3).

Con la información recolectada en mayo de 2021 (época lluviosa), en 8 estaciones de muestreo del departamento de Sucre, en las zonas de San Onofre, Golfo Afuera y Tolú-Coveñas, se calculó el ICAM<sub>PFF</sub>. En abril del 2022 (época seca), la estimación del ICAM<sub>PFF</sub> se realizó para 14 estaciones de muestreo. En general, para el año 2021 las estaciones oscilaron entre calidad pésima (13 %) y óptima (25 %), mientras que para el año 2022 se presentó una mejoría en relación con el reporte del ICAM<sub>PFF</sub>, reportándose estaciones con calidad inadecuada (14 %), adecuada (57 %) y óptima (29 %) (Figura 10-3a).

En 2021 (época lluviosa), las estaciones con calidad pésima (Coveñas Coquerita) e inadecuada (Hotel Montecarlo y C. La Caimanera) (Figura 10-3a), estuvieron ubicadas en la zona Tolú – Coveñas que está influenciadas por fuentes de

contaminación asociadas a turismo, vertimientos de aguas residuales domésticas de centros poblados y tributarios asociados a pequeños caños y arroyos receptores de escorrentías provenientes de las zonas rurales y urbanizadas (INVEMAR, 2019a), los cuales con el incremento de las lluvias pueden aportar contaminantes que pueden deteriorar la calidad de las aguas marino-costeras.

En el año 2022 (época seca), en las estaciones Santa Cruz y Hotel Montecarlo ubicadas en las zonas San Onofre y Tolú-Coveñas, respectivamente, se reportaron valores de ICAMPFF con calidad inadecuada (Figura 10-3b). Esto asociado principalmente a los valores de Coliformes Termotolerantes (3300 NMP/100 mL), los cuales sobrepasan ampliamente los valores máximos permisibles para contacto primario y secundario (Minambiente, 2015). Estos aportes se encuentran asociados a las descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento previo que son vertidas de manera directa o transportadas por escorrentía desde la zona continental (INVEMAR, 2022).

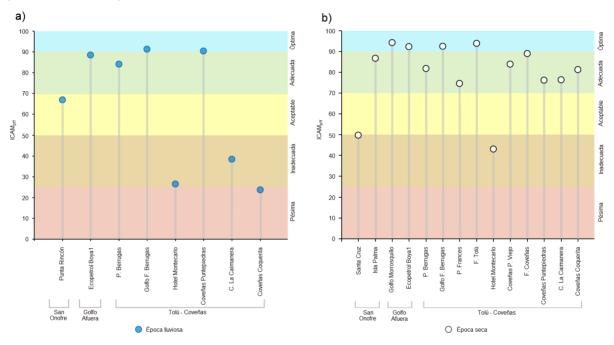


Figura 10-3. Calidad de agua superficial ICAM<sub>PFF</sub> para a) año 2021 y b) año 2022, en las estaciones marinas y costeras del departamento de Sucre.

Se analizó el Carbono Orgánico Total (COT) en agua superficiales de las estaciones ubicadas en las zonas de San Onofre, Golfo Afuera y Tolú-Coveñas, en la época lluviosa del año 2021 y época seca del año 2022 (Figura 10-4). Las concentraciones de COT registradas en el 2021 (época lluviosa) estuvieron entre 1,75 y 3,76 mg COT/L; las mayores concentraciones se presentaron en la estación Coveñas-Coquerita (3,76 mg COT/L) y Hotel Montecarlo (3,08 mg COT/L), ubicadas en la zona Tolú-Coveñas (Figura 10-4a), la cual presenta características costeras y por lo tanto pueden estar influenciadas por fuentes terrestres de contaminación asociadas con vertimientos de aguas residuales domésticas que aportan altos niveles de materia orgánica al sistema.



En el año 2022 (época seca), en todas las estaciones de las zonas San Onofre, Golfo Afuera, se registraron concentraciones de COT entre 1 y 1,18 mg COT/L (Figura 10-4b); mientras que, en la zona Tolú-Coveñas los registros de COT, oscilaron entre 1,26 y 8,59 mg COT/L (Figura 10-4b). En la estación C. La Caimanera las concentraciones de COT pasaron de 2,5 mg COT/L, en la época seca, a 8,59 mg COT/L en época lluviosa (Figura 10-4b), lo cual puede estar asociado con la disminución del flujo hídrico que llega a la ciénaga y la acumulación de materia orgánica producida por el ecosistema de manglar que bordea la Ciénaga.

En las demás estaciones, las concentraciones de COT durante la época lluviosa fueron mayores que las registradas en la época seca (Figura 10-4), situación que está relacionada con el aumento de las descargas fluviales y el aporte hídrico provenientes de caños, arroyos y escorrentías asociados a vertimientos de aguas residuales que aportan materia orgánica al sistema.

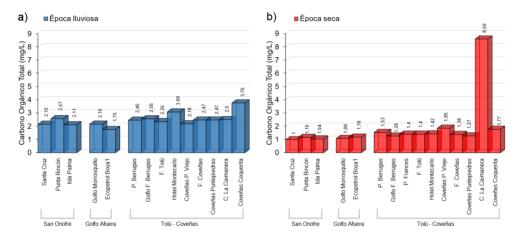


Figura 10-4. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en 2021 en época seca y 2022 en época lluviosa en el departamento de Sucre. Barras rojas y azules representan la época seca y lluviosa respectivamente.

### 10.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

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/100 mL de CTE, <1.000 NMP/100 mL (MinAmbiente, 2015) y las concentraciones de EFE, contrastados con los valores de referencia establecidos por la <100 UFC/100 mL (Unión Europea, 2006).

En la época lluviosa (año 2021), las estaciones de San Onofre (Santa Cruz y Punta Rincón), de Tolú – Coveñas (Hotel Montecarlo y Coveñas Coquerita), 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); adicionalmente en la zona Golfo Afuera (estación Ecopetrol Boya 1) la concentración de CTT estuvo por encima del límite permisible (Figura 10-5a).

En la época seca (año 2022), en las estaciones de la zona San Onofre (Santa Cruz) y en la mayoría de las estaciones de Tolú – Coveñas (P. Berrugas, P. Francés, Hotel Montecarlo, Coveñas P. Viejo, Coveñas Puntepiedras, C. La Caimanera y Coveñas Coquerita), se registraron concentraciones de CTE por encima del límite permisible. En las estaciones de Santa Cruz de la zona San Onofre y en las estaciones de Tolú – Coveñas (P. Francés, Hotel Montecarlo, Coveñas P. Viejo, Coveñas Puntepiedras y C. La Caimanera), se registraron concentraciones por encima del límite permisible (Figura 10-5b). En contraste, las estaciones de la zona Golfo Afuera presentaron valores por debajo del límite permisible tanto para CTE como para CTT.

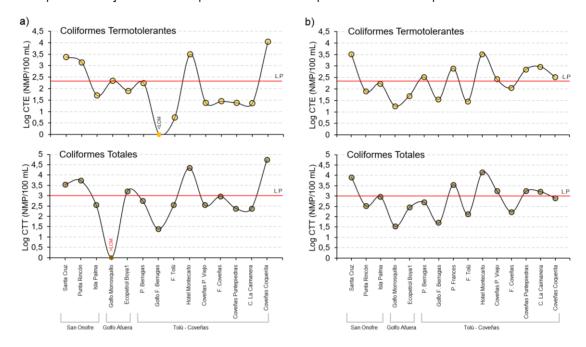


Figura 10-5. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Sucre; a) muestreo del 2021 y b) muestreo del 2022. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 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 los muestreos del año 2021, en las estaciones de la zona San Onofre (Santa Cruz y Punta Rincón), Golfo Afuera (Golfo de Morrosquillo) y Tolú – Coveñas (Hotel Motecarlo y Coveñas Coquerita), se registraron concentraciones de EFE por encima del límite permisible propuesto por la Unión Europea (2006) (100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL), además, superaron 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 10-6a). Por el contrario, en los muestreos del año 2022, todas las estaciones ubicadas en las zonas de San Onofre, Golfo Afuera, y Tolú – Coveñas, registraron concentraciones de EFE por debajo del límite permisible y el valor de referencia establecido por la OMS (Figura 10-6b). Probablemente este resultado se deba a que en la época seca el caudal de los ríos es menor y por lo tanto disminuyen los aportes continentales, presentándose



menores concentraciones de EFE en estas áreas (Quintana-Saavedra & Santa-Ríos, 2013).

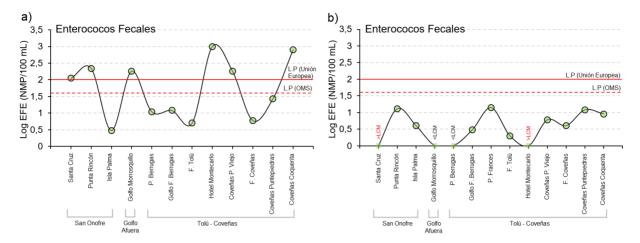


Figura 10-6. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM La Sucre, en época seca a) muestreo del 2021 y b) muestreo del 2022. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL). La línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL). L.P: Limite Permisible.

Desde el año 2002 las concentraciones de CTE, CTT y EFE, han mantenido un comportamiento fluctuante, con niveles de cumplimiento alto, medio y bajo en diferentes momentos; a excepción de la estación Isla Palma, en la cual en 20 años de análisis las concentraciones de CTE, CTT y EFE han estado en niveles de cumplimiento altos y medios. En esta estación de muestreo, se registran las concentraciones medias históricas de CTT CTE y EFE más bajas en relación con las demás estaciones objeto de análisis (Figura 10-7).

Históricamente, en las estaciones Coveñas Coquerita, Hotel Montecarlo, Punta Rincón y Hotel Playamar, se registraron concentraciones medias históricas de CTE superiores a los valores de referencia para contacto primario y secundario establecidos por la legislación nacional (Minambiente, 2015). En la estación Coveñas Coquerita las concentraciones medios históricas de CTT han superado los valores máximos permisibles para contacto primario y secundario; en las estaciones P. Francés, Hotel Montecarlo, Hotel Playa Mar y Punta Rincón, se han registrado concentraciones de CTT superiores a los límites permisibles (Figura 10-7), lo cual se puede asociar a los vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento previo (INVEMAR, 2018). En los municipios de Tolú y Coveñas, los servicios de alcantarillado son ineficientes, por lo que los residuos domésticos son descargados directamente a cuerpos de agua como el arroyo Villeros, que recolecta las aguas residuales de poblaciones aledañas. Este arroyo alcanzó en 2009 concentraciones de CTE de 2'200.000 NMP / 100 mL (INVEMAR, 2009).

Las concentraciones de EFE registradas históricamente entre 2006-2022, han presentado un comportamiento homogéneo con predominancia de niveles de cumplimiento alto. En las estaciones Coveñas PuntePiedras e Isla Palma, se han

registrado niveles de cumplimiento alto hasta la actualidad (Figura 10-7). En las estaciones Coveñas Coquerita y Hotel Montecarlo, se han registrado concentraciones superiores a los valores de referencia propuestos por la <u>Unión Europea (2006)</u> para uso recreativo de contacto primario, lo cual indica contaminación por aguas residuales domésticas y un riesgo para la salud humana por enfermedades gastrointestinales y respiratorias febriles agudas (<u>OMS, 2003</u>).

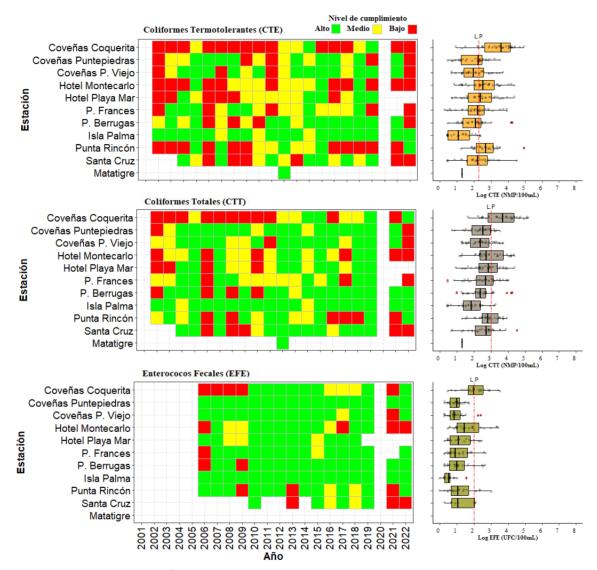


Figura 10-7. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Sucre. La escala de valoración del nivel de cumplimento corresponde a: Alto, 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.



### 10.2 Conclusiones y recomendaciones

- El análisis ICAM<sub>PFF</sub> 2021 y 2022 en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, mostró que la calidad del agua está influenciada por el aumento de las precipitaciones, principalmente en las estaciones Punta Rincón, Hotel Montecarlo, C. La Caimanera y Coveñas Coquerita, ya que los caños y arroyos que tributan sus aguas en la zona marino-costera circulan por áreas de ganadería y zonas urbanas recibiendo vertimientos de residuos sólidos y líquidos, contaminantes que pueden deteriorar la calidad del agua. Por lo anterior, se recomienda establecer mecanismos de seguimiento control y vigilancia e identificar las fuentes de contaminación asociadas a estos cuerpos hídricos.
- La calidad sanitaria de las playas turísticas de Coveñas Coquerita, Punta Rincón, Hotel Montecarlo y Hotel Playamar, históricamente ha sido predominantemente baja para uso recreativo de contacto primario, debido a que se han registrado concentraciones considerablemente superiores a los límites máximos permisibles de CTT y CTE. Al ser el turismo de sol y playa de los principales atractivos turísticos, se presenta el riesgo actual de sus usos para contacto primario y explotación comercial. Por lo anterior, se recomienda realizar muestreos de la calidad microbiológica del agua previo y posterior a las temporadas de mayor afluencia turística, para establecer mecanismos de control y vigilancia a actividades comerciales ubicadas en la zona costera que permitan a la autoridad ambiental establecer medida de prevención.





### 11. DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

La zona costera del departamento de Córdoba se ubica en el Caribe colombiano, donde el sistema lagunar delta estuarino del Río Sinú 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 Córdobas (Figura 4-14). En esta zona se encuentran los ecosistemas de manglar más representativos del Caribe colombiano por su estado de conservación y cobertura, que proporcionan servicios ecosistémicos de provisión, regulación, culturales y de soporte; además cuenta con pastos marinos y corales que contribuyen a mantener y satisfacer las necesidades de las comunidades locales (Fundación Natura e INVEMAR, 2019). En la costa desemboca el Río Sinú, donde se forma el sistema lagunar delta estuarino (INVEMAR, 2014). Además, se encuentran playas arenosas de gran importancia ecológica y turística, entre otros ecosistemas ambientalmente estratégicos para las comunidades locales (Fundación Natura e INVEMAR, 2019).

Las principales fuentes de contaminación que pueden deteriorar la calidad de las aquas marino-costeras del departamento son los residuos de la ganadería, agricultura, acuicultura, turismo, extracción de madera, el carque de petróleo en el golfo de Morrosquillo, el tránsito de embarcaciones de menor y mayor calado y la pesca (Figura 4-14; INVEMAR, 2018). De acuerdo a lo documentado por Arteaga et al. (2017) en las zonas aledañas a la Bahía de Cispatá, los agricultores y acuicultores usan agroquímicos para el control de plagas, sin considerar su aplicación, lo cual genera descargas difusas a las aguas marino-costeras. La red de estaciones del monitoreo REDCAM en el departamento se distribuye en dos zonas geográficas: Bahía de Cispatá y Costa Occidental. La primera zona comprende los municipios de San Antero, San Bernardo del Viento y Lorica (Figura 11-1). En la Bahía de Cispatá las estaciones están ubicadas en playas turísticas, en la desembocadura del brazo Tinajones del Río Sinú, y en caños y ciénagas rodeadas por manglar en el Distrito de Manejo Integrado (DMI) de Cispatá y Tinajones. La zona Costa occidental, abarca parte de los municipios de San Bernardo del Viento, Moñitos y Puerto Escondido (Figura 11-1), donde se desarrollan actividades de agricultura, ganadería, pesca artesanal, aprovechamiento forestal y turismo (Figura 4-14).

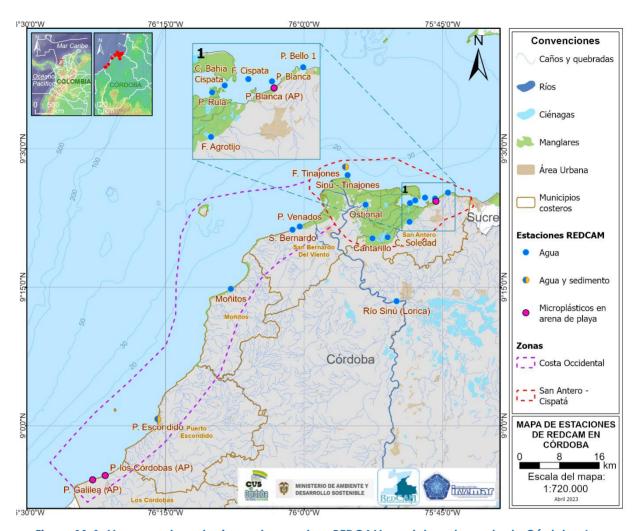


Figura 11-1. Mapa con las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Córdoba. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial y los puntos bicolores (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimentos sumergidos. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

### 11.1 Calidad de aguas marinas y costeras

### 11.1.1 Calidad de agua para la preservación y protección de flora y fauna

La calidad del agua marina y costera en el departamento de Córdoba, se encuentra influenciada por los procesos hidrodinámicos del delta del Río Sinú, la presencia de ecosistemas marinos costeros y las actividades antropogénicas.

El análisis histórico de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba (Figura 11-2), clasifica las aguas 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, como agua marina, según la escala de salinidad del agua sugerida por Knox (2001), las cuales se encuentran más alejadas de la incidencia del Río Sinú. 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 11-2).

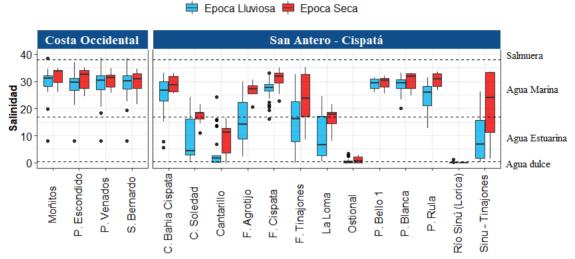


Figura 11-2. Gráfico de caja y bigote con la representación histórica (2001-2022) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, diferenciado por zona de muestreo definidas como Costa Occidental y San Antero – Cispatá; y entre época climática: lluviosa (color azul) y 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. 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).

Para el año 2022, la estimación del ICAM<sub>PFF</sub> se realizó con la información recolectada en el muestreo del mes de abril (época seca). El ICAM, se pudo estimar en 13 estaciones distribuidas en Costa Occidental y Bahía de Cispatá. El 64% de las estaciones evaluadas estuvieron en calidad adecuada (P. Bello 1, P. Blanca, C. Bahía Cispatá, P. Rula, P. Venados, Moñitos y P. Escondido); el 27% en calidad aceptable (F. Agrotijo, Sinú – Tinajones y F. Tinajones) y el 9% en calidad inadecuada (C. Soledad). No se presentaron estaciones con calidad pésima (Figura 11-3).

La calidad inadecuada en C. Soledad y la calidad aceptable en frente Agrotijo, Sinú - Tinajones y F. Tinajones, se asocian a la influencia de las aguas de escorrentías y del Río Sinú que transportan materia orgánica y sustancias contaminantes desde sus recorridos fluviales. Particularmente en C. Soledad, donde se presentó una sobresaturación del oxígeno disuelto (16,2 mg/L) y elevadas concentraciones de clorofila a (122 µg/L), lo cual da indicios de posibles procesos de eutrofización (Vásquez, 2006).

Los resultados de la estación ubicada en ciénaga la Soledad, muestran la influencia de actividades antrópicas, en esta zona operaban camaroneras que están en el proceso de desmantelamiento, hay actividades de ganadería y agricultura, donde se la inadecuada gestión de desechos contribuye a la contaminación y constante resuspensión de sedimentos (Rojas & Sierra-Correa, 2010; Arteaga et al., 2017). Es importante destacar que los impactos antropogénicos son los causantes de la fragmentación y eutrofización que afectan a la biota, el estado ecológico y los

servicios ecosistémicos que ofrecen estas áreas (<u>Søndergaard & Jeppesen, 2007</u>). 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 del agua (<u>Sobek et at., 2007</u>).

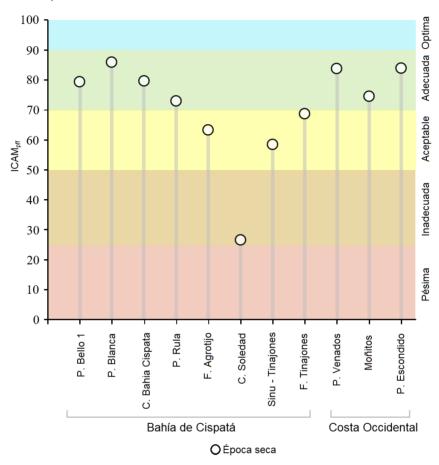


Figura 11-3. Calidad de agua superficial ICAM<sub>PFF</sub> para el año 2022, en las estaciones marinas y costeras del departamento de Córdoba.

El Carbono Orgánico Total (COT) se analizó en las estaciones P. Bello 1, P. Blanca, F. Cispatá, C. Bahía Cispatá, P. Rula, F. Agrotijo, C. Soledad, Cantarillo, Ostional, Sinú-Tinajones, F. Tinajones, P. Venados, S. Bernardo, Moñitos y P. Escondido. Las concentraciones de COT estuvieron entre 0,56 y 14,2 mg COT/L (Figura 11-4). Las mayores concentraciones se registraron en las estaciones con características estuarinas, de C. Soledad (14,2 mg COT/L), Cantarillo (13 mg/L) y F. Agrotijo (9,2 mg COT/L). En estas estaciones donde se encuentran los ecosistemas de manglar, hay mayor acumulación de materia orgánica en descomposición relacionada a la presencia de vegetación aledaña, sumergida y fitoplancton. En el año 2021, se registraron las mayores concentraciones de COT en las estaciones de C. Soledad, C. La Loma y F. Agrotijo, (28,5 mg COT/L, 23,7 mg COT/L y 12,4 mg COT/L, respectivamente). Este resultado se relaciona con el deterioro de los ecosistemas de



manglar por la tala indiscriminada, así como la preparación de tierras para la explotación agrícola o ganadera.

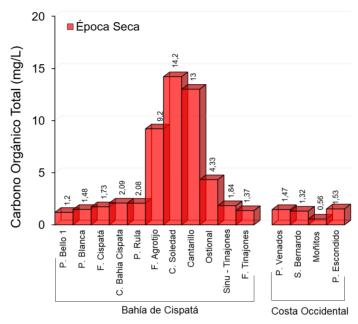


Figura 11-4. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en 2022 época seca en el departamento de Córdoba.

#### 11.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

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 2022, el 64% de las estaciones ubicadas en la zona de San Antero y Costa Occidental (P. Bello 1, F. Cispatá, C. Bahía Cispatá, F. Agrotijo, Río Sinú (Lorica), C. Soledad, Sinú (Tinajones, F. Tinajones y Moñitos), se registraron concentraciones de CTE por encima del límite permisible para contacto primario (200 NMP/100 mL o 2,3 log NMP/100 mL). En el 85% de las estaciones (P. Bello 1, P. Blanca, F. Cispatá, C. Bahía Cispatá, F. Agrotijo, Río Sinú (Lorica), Sinú -Tinajones, F. Tinajones, P. Venados, Moñitos y P. Escondido), se registraron altas concentraciones de CTT, las cuales estuvieron por encima del límite permisible (1.000 NMP/100 mL o 3 log NMP/100 mL; Figura 11-5). En todas las estaciones ubicadas en la zona de San Antero y Costa Occidental (P. Bello 1, P. Blanca, P. Venados, S. Bernardo, Moñitos y P. Escondido), se registraron concentraciones de EFE por debajo del límite permisible de la Unión Europea (100 UFC/100 mL o 2 log UFC/100 mL), y el valor de referencia propuesto por la OMS (2003) (Figura 11-5).

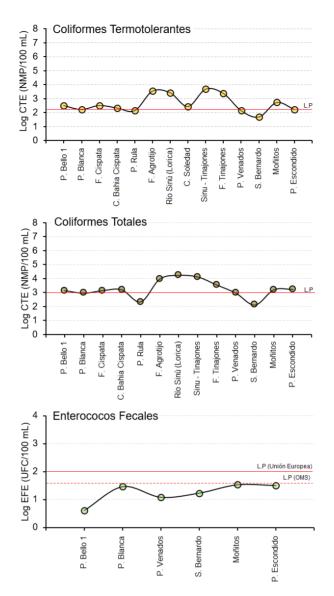


Figura 11-5. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Córdoba, muestreo del 2022. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE, 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT y 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL). Línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL). L.P: Limite Permisible.

El análisis histórico de CTE, CTT y EFE mostró que desde el año 2002 las concentraciones de estos microorganismos 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 y CTT han aumentado con el tiempo, sobrepasando los valores permisibles para contacto primario y secundario establecidas en la legislación nacional (Figura 11-6, MinAmbiente, 2015), así como las concentraciones de EFE que han superado los valores establecidos por la Unión Europea. Este comportamiento está relacionado tanto con factores climáticos



marcados por épocas de lluvia, como por factores antropogénicos, asociados con actividades turísticas, las cuales se desarrollan sin el aprovisionamiento del equipamiento para evitar descargas directas de aguas residuales en las áreas cercanas a las playas. Cabe destacar que en la estación P. Escondido, se evidenció que las concentraciones de CTE en el año 2020 estaban en un nivel de cumplimiento y en el 2022 las concentraciones aumentaron, hasta alcanzar valores por encima del máximo permisible (Figura 11-6).

Las mayores concentraciones de EFE se registraron en Puerto Escondido, 7.600 UFC/100 mL (julio 2017) y Moñitos, 5.800 UFC/100 mL (julio 2017) y 820 UFC/100 mL (octubre 2020), respectivamente (Figura 11-6). De acuerdo con los lineamientos de la OMS (2003), al estar por encima de 500 UFC/100 mL hay una probabilidad mayor al10% de que los usuarios de las playas contraigan enfermedades gastrointestinales (EGI) y >3,9% de contraer enfermedades respiratorias febriles agudas (ERFA). Estos microorganismos están asociados a contaminación de origen fecal, lo que refleja la carencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales, los cuales son vertidos directamente. Cabe destacar que en el año 2022 se observó una mejoría de las concentraciones de EFE, con un nivel de cumplimiento alto en todas las estaciones.

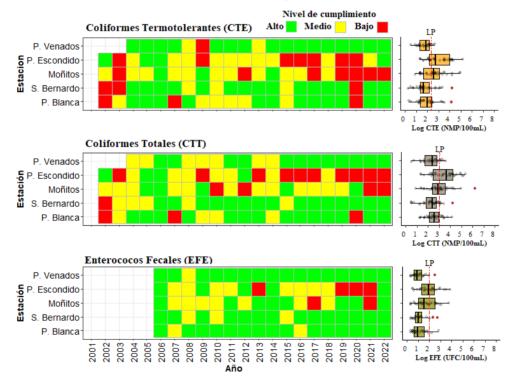


Figura 11-6. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Córdoba. La escala de valoración del nivel de cumplimento corresponde a: Alto, 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.

### 11.2Calidad 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, 2019b). Teniendo en cuenta esta condición, desde el año 2013, se dio inicio al monitoreo de sedimentos en la estación frente Sinú-Tinajones, en el 2017 se adicionaron las estaciones Boca Sinú - Tinajones y Ostional, y desde 2018 se monitorean cinco estaciones río Sinú (Lorica), Ostional, frente Sinú-Tinajones, Moñitos y Puerto Escondido. A continuación, se describe el tipo de sedimento, en términos de granulometría y concentración de Carbono Orgánico Total (COT), y la calidad del sedimento, en términos de contaminantes orgánicos (plaguicidas organoclorados y organofosforados) y metales totales (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, Fe y Hg).

El sedimento colectado en abril del 2022 (época seca), mostró que la estación F. Tinajones contiene un 97,9% de lodo y 2,1% de arena, clasificando el sedimento como tipo lodoso (limo+arcilla, <63 µm), con diámetro medio del grano de 16,2 µm (Figura 11-7 y Figura 11-8). Esta condición se asocia a la geomorfología del sector determinada por la desembocadura deltaica del río Sinú que contribuye a la formación de múltiples sistemas de ciénagas en el DMI Cispatá como las ciénaga Soledad y Ostional (Castaño et al., 2010; Ruíz-Ochoa et at., 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 (95.62%) (Figura 11-7), clasificando el sedimento como tipo arena muy fina, con un diámetro de partícula de 112.8 µm (Figura 11-8), debido a su cercanía a la línea costera que está influenciada por los vientos y corrientes marinas.

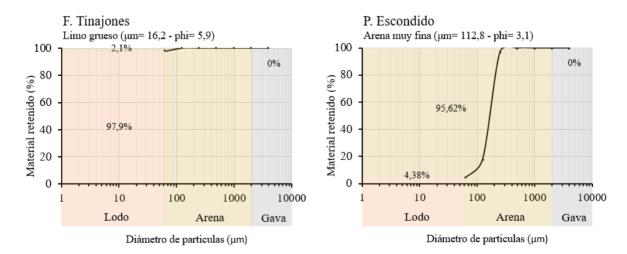


Figura 11-7. Curva granulométrica y clasificación del tipo de sedimento en las estaciones monitoreadas en el 2022 para el departamento de Córdoba.



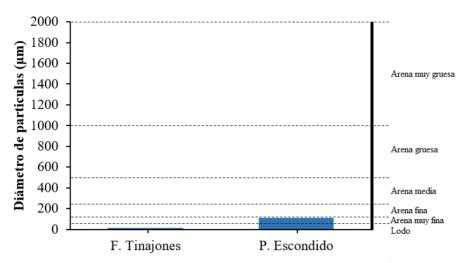


Figura 11-8. Tamaño medio de partícula del sedimento (µm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en el 2022 en el departamento de Córdoba. Las barras rojas y azules diferencian la época seca y lluviosa, respectivamente. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

El mayor porcentaje de COT se registró en la estación F. Tinajones (0,95 %), debido a la presencia de materia orgánica proveniente de residuos vegetales aportados por el fitoplancton, los árboles de mangle y la vegetación sumergida, característicos de zonas estuarinas (Calva et al., 2006; Sosa et al., 2009). En la estación P. Escondido, con tipo de sedimentos arenosos, presentó los porcentajes de COT más bajos (0,15 %) (Figura 11-9).

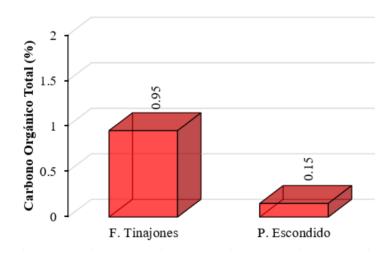


Figura 11-9. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de sedimentos recopilados en 2022 en el departamento de Córdoba.

En cuanto a los metales totales en sedimentos, las mayores concentraciones se registraron en la estación frente Tinajones (Figura 11-10), con registros de Cu (66,8 μg Cu/g), Cr (117 μg Cr/g) y Hg (139 ng Hg/g) por encima del valor de referencia para efectos umbral TEL (Buchman, 2008) (Figura 11-10). En la estación P. Escondido, las concentraciones de Cu (6,49 μg Cu/g), Zn (27 μg Zn/g) y Hg (10,9 ng Hg/g) estuvieron por debajo del valor de referencia TEL (Buchman, 2008) (Figura 11-10). 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 (Cr= 25 μg Cr/g, Cd= 12,5 μg Cd/g; Ni= 75 μg Ni/g y Pb= 15 μg Pb/g).

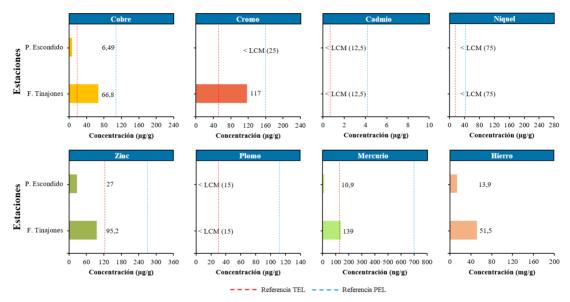


Figura 11-10. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos recopilados en 2022 en el departamento de Córdoba. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (<u>Buchman, 2008</u>) para sedimentos marino/estuarino. 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

Estudios realizados en la Bahía de Cispatá, han detectado la presencia de los metales Cu, Cr, Cd, Ni, Pb y Hg en el agua, sedimentos, aves y peces (<u>Burgos-Núñez et al., 2017</u>), lo cual está relacionado con las aguas freáticas del distrito de riego y drenaje La Doctrina, con la operación del puerto de embarque de petróleo y con las actividades ganaderas, los residuos domésticos y la actividades agrícolas, ya que los metales llegan fácilmente por escorrentías al sistema estuarino (<u>Feria et al., 2010, Marrugo et al., 2017</u>). En la actividad agrícola, se usan algunos fertilizantes que contienen pequeñas cantidades de Cu y Zn y plaguicidas con base en metales como el Cu y el Hg (<u>Burgos-Núñez et al., 2017</u>). 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 (<u>Cadavid-Velásquez et al., 2019</u>).



### 11.3 Contaminación por microplásticos en playas turísticas

La basura marina fue evaluada en tres playas turísticas del departamento de Córdoba, Playa Blanca en San Antero; y Playa Los Córdobas y Galilea en el municipio de Los Córdobas. La mayor concentración de basura marina se encontró en P. Galilea (26,6 unidades/m²), y la menor en P. Córdobas (7,1 unidades/m²) (Figura 11-11). Los valores encontrados son similares a los reportados en otras playas turísticas del caribe colombiano, tales como Bahía Concha y Taganga, ubicadas en el departamento del Magdalena, donde ingresar altas cantidades de visitantes (Garcés-Ordóñez et al., 2020b). En cuanto a P. Blanca, no se encontraron restos de basura marina (Figura 11-11), lo cual se asocia a la jornada de limpieza que realizan los hoteleros, las actividades por parte de recicladores y la recolección de basura que hace el Programa de Prestación del Servicio Público de Aseo SEACOR S.A E.P.S. (2019) y las labores de limpieza realizadas por los prestadores de servicios turísticos de playa Blanca, actividad que se observó durante el muestreo.

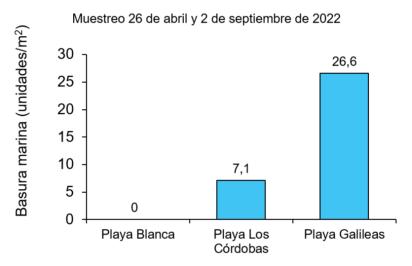


Figura 11-11. Abundancia de basura marina en las playas turísticas de Córdoba, registrada en los muestreos realizados el 26 de abril y 2 de septiembre de 2022.

En P. Córdobas y P. Galileas, la basura marina principalmente estuvo constituida por plásticos en aproximadamente un 80%, vidrio, metal y papel (Figura 11-12). Esta basura puede ingresar a la zona costera por las desembocaduras de los ríos, vientos, actividades antrópicas y desde los océanos.

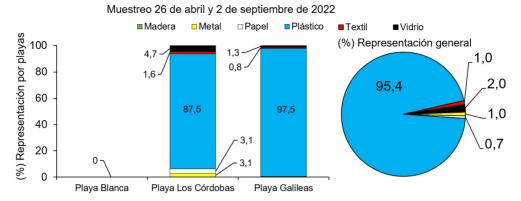


Figura 11-12. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de basura marina en las playas turísticas de Córdoba, evaluadas en los muestreos realizados el 26 de abril y 2 de septiembre de 2022.

En cuanto a los microplásticos (partículas de plásticos menores a 5mm), la abundancia en la arena de playa en P. Galileas fue de 60 unidades/m² y en P. Córdobas fue de 12 unidades/m² (Figura 11-13). La mayor abundancia de microplásticos se presentó en las estaciones en las que se registraron altas abundancias de basura marina.



Figura 11-13. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas de Córdoba, colectadas el 26 de abril y 2 de septiembre de 2022.

Las formas de los microplásticos más abundantes en P. Galilea fueron fragmentos (53,3%) y espumas (26,7%) que son de origen secundario; seguido de pellets (20%), que son de origen primario. En P. Los Córdobas la presencia de microplásticos fue equitativa en un 33,3% de pellet, 33,3% de fragmentos y 33,3% espuma (Figura 11-14). Los microplásticos de origen primario, son fabricadas por la industria y se utilizan como materia prima para otros productos, mientras que las de origen secundario provienen de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño que se descargan en el ambiente producto de inadecuados manejos de residuos sólidos como envases desechables, envolturas de mecatos y bolsas (Figura 11-15A y B) (Auta et al., 2017), lo cual se asocia a las actividades de comercio y consumo que demandan los visitantes



de las playas. Otros desechos plásticos probablemente fueron transportados desde las desembocaduras de los ríos, los cuales corresponden en su mayoría a residuos domésticos tales como envases de botellas, juguetes y plástico en general (Figura 11-15 C y D) (Hidalgo-Ruz & Thiel 2013).



Figura 11-14. Porcentajes de representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las payas de Córdoba, colectadas el 26 de abril y 2 de septiembre de 2022.

Los microplásticos de origen primario (pellets) se usan en productos de aseo personal, del hogar, entre otros, los cuales pueden provenir de aguas residuales industriales o domésticas que se descargan en los ríos que tributan a las zonas costeras. Además, estos contaminantes son exportados a través de corrientes marinas desde otros sitios como Cartagena, donde se desarrolla una alta actividad industrial (Acosta-Coley et al., 2019). Los microplásticos de origen secundario están relacionados con el manejo inadecuado de residuos sólidos, las actividades turísticas, actividades de acuicultura y pesca, y en general a materiales que son transportados por escorrentías y vientos hasta las playas donde se acumulen plásticos de mayor tamaño que se degradan y generan estos contaminantes (Garcés-Ordóñez et al., 2021).



Figura 11-15. Disposición inadecuada de residuos sólidos producidos por el turismo en Playa Los Córdobas (A y B), basura marina encontrada en Playa Galileas (C y D).

### 11.4Conclusiones y recomendaciones

- El análisis del ICAMPFF, mostró que, la estación Ciénaga la Soledad durante época lluviosa del año 2022, presentó condiciones de la calidad del agua inadecuada, debido a la sobresaturación de oxígeno disuelto, y altas concentraciones de clorofila a, de sólidos suspendidos y de carbono orgánico total (COT), lo cual indica que en esta zona hay procesos de eutrofización. Se recomienda fortalecer los estudios y seguimientos para determinar las causas de estas condiciones y tomar acciones que permitan mejorar la calidad ambiental de la zona.
- En las estaciones Cantarillo y F. Agrotijo del DMI Cispatá, en la época lluviosa del año 2022, se registraron bajos niveles de oxígeno disuelto, asociado a la dinámica del bosque de manglar y a las recurrentes fuentes de contaminación.
- La calidad sanitaria de las estaciones P. Bello 1, F. Cispatá, C. Bahía Cispatá, F. Agrotijo, Río Sinú (Lorica), C. Soledad, Sinú Tinajones, F. Tinajones y Moñitos, fue poco favorable, debido a las concentraciones altas de CTE que superan el límite máximo permisible para contacto primario, establecido en la legislación colombiana (200 NMP/100 mL).
- 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 y los sedimentos de la estación P. Escondido, tienen concentraciones de Cr por encima del valor de referencias TEL, situación que ha sido reportada en otras investigaciones. 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 presencia de microplásticos en la arena de playa de Los Córdobas y Galileas en el municipio de Los Córdobas, evidencia el impacto de las actividades antrópicas que se desarrollan en la zona marino-costera y sus alrededores. Por lo tanto, es importante identificar la dinámica de las fuentes de contaminación directas y difusas, que permitan proponer estrategias de manejo adecuado para mitigar los efectos negativos sobre el ecosistema marino.



## 12. DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

El departamento de Antioquia tiene una zona costera que se encuentra en el Caribe colombiano, y comprende los municipios de Arboletes, San Juan de Urabá, Necoclí y Turbo, donde se reportó una población humana de ~225.769 habitantes (DANE, 2021). En esta zona, están presentes playas de arena, manglares, lagunas costeras, estuarios y formaciones coralinas, además tiene una alta influencia de la hidrodinámica del delta del río Atrato v de la contracorriente del Darién que determinan el contraflujo del golfo de Urabá (Ricaurte-Villota y Bastidas, 2017). Desembocan al golfo de Urabá y al mar Caribe una aran variedad de ríos, entre los cuales destacan los ríos Atrato, Guadualito, Mulatos, Necoclí, Currulao, León y Turbo. Las principales fuentes de contaminación son los vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento y la inadecuada disposición de residuos sólidos, residuos de la agricultura intensiva, ganadería, comercio, turismo y actividad marítima portuaria (Figura 4-14) (Vivas-Aguas et al., 2010). En general, la calidad del agua marina y costera en el departamento de Antioquia se encuentra influenciada por los procesos hidrodinámicos del delta del río Atrato, la presencia de ecosistemas marinos costeros y las actividades antropogénicas.

En el departamento de Antioquia, la REDCAM cuenta con 27 estaciones de muestreo, distribuidas en cuatro zonas (Figura 12-1). Desde el 2001 el monitoreo REDCAM en Antioquia es realizado de manera autónoma por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá – CORPOURABÁ, quien realiza el monitoreo y reporta los datos al sistema REDCAM. Además, atendiendo los compromisos y las necesidades de información para el reporte del ICAM<sub>PFF</sub>. Sin embargo, en el año 2021 el INVEMAR realizó el muestreo y procesamiento muestras en 15 estaciones priorizadas para el ICAM<sub>PFF</sub>.



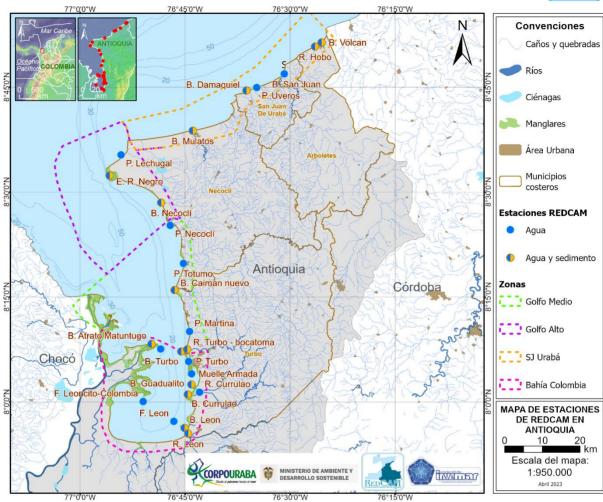


Figura 12-1. Mapa con las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Antioquia. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial y los puntos bicolores (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimentos. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

### 12.1 Calidad de aguas marinas y costeras

### 12.1.1 Calidad de agua para la preservación y protección de flora y fauna

A partir de la clasificación de los valores de salinidad propuesto por <u>Knox (2001</u>; Figura 12-2), se determinó que el 76% de las estaciones REDCAM en el departamento de Antioquia, corresponden a agua estuarina, el 14% a agua dulce y solo el 10% a aguas marinas.

El análisis histórico de salinidad en las estaciones del departamento de Antioquia, mostró una clasificación de tipo agua dulce para las estaciones R. Turbo-bocatoma situada en el Golfo Medio, B. Atrato Matuntugo, R. Currulao y R. León en Bahía Colombia. Las estaciones P. Arbolete y P. uveros ubicadas en San Juan de Urabá y P.

Lechugal en el Golfo Alto mostraron una tendencia histórica de tipo de agua marina, tanto en época seca como lluviosa.

En general, 22 de las 29 estaciones del departamento mostraron un comportamiento de tipo estuarino (Figura 12-2). Estas estaciones presentan influencia mareal, la cual comunica el sistema con las zonas próximas al medio marino, provocando el aumento de la salinidad. Al mismo tiempo, se logró evidenciar que algunas estaciones no presentan una tendencia común de valores de salinidad altos en la época seca. Las estaciones del Golfo Medio (P. Martina, P. Necoclí y P. Totumo), Golfo Alto (P. Lechugal) y en Bahía Colombia (Bahía Colombia, F. León, F. Leoncito-Colombia, Muelle Ahumada y P. Turbo) mostraron los mayores valores de salinidad en época lluviosa. Estos resultados son evidentes debido a las características oceánicas y costeras que presenta la configuración geográfica del golfo de Urabá en conjunto con la intensidad de los vientos que impiden la salida libre de las aguas hacia el océano, provocando un brusco descenso de la salinidad durante la época seca (Ricaurte-Villota & Bastidas, 2017), además de la extensión temporal de la época lluviosa debido a las altas precipitaciones propia de la zona.

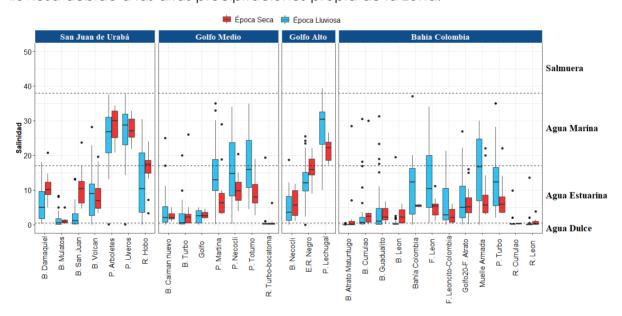


Figura 12-2. Boxplot de la variación histórica (2001 hasta 2021) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Antioquia, diferenciado por zona y época de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana 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).

Los valores ICAM<sub>PFF</sub> para las estaciones distribuidas en San Juan de Urabá, Golfo Medio y Bahía Colombia oscilaron entre calidad pésima (1 estación), adecuada (3 estaciones) y aceptable (7 estaciones) (Figura 12-3). Durante la época lluviosa del 2021 (mes de junio) los registros fluctuaron entre 23,45 y 67,15, donde B. Volcán presentó una calidad ambiental pésima, principalmente por las altas concentraciones de nutrientes (PO<sub>4</sub> <sup>3-</sup> y NO<sub>3</sub>-) y Coliformes Termotolerantes.



Estos resultados muestran que el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arboletes es poco eficiente, por lo cual es necesaria una intervención en este sistema, (INVEMAR, 2022). Se recomienda evaluar y tomar acciones sobre el tramo del río y el casco urbano para el mejoramiento de la calidad ambiental marina de esta zona y establecer control sobre las altas concentraciones de nutrientes que son la principal causa del aumento de eutrofización costera (Bouwman et al., 2013).

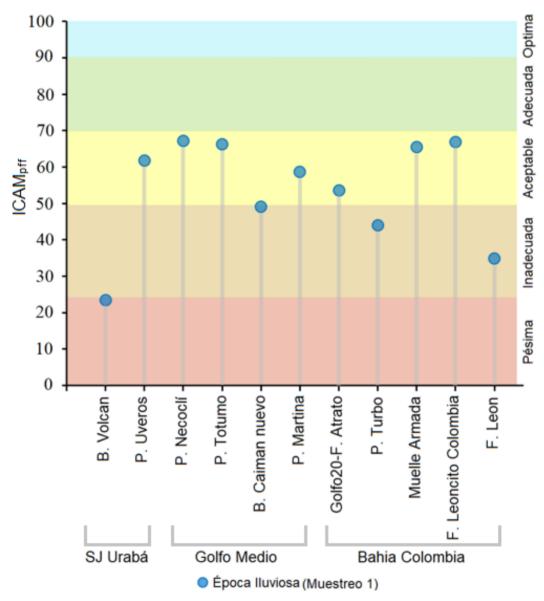


Figura 12-3. Calidad de agua superficial ICAM<sub>PFF</sub> para época lluviosa (Muestreo 1 –junio del 2021), en las estaciones marinas y costeras del departamento de Antioquia.

En las estaciones del departamento de Antioquia, durante el 2021, época lluviosa, se determinaron las concentraciones de Carbono Orgánico Total (COT), las cuales fluctuaron entre 1,4 y 5,6 mg COT/L (Figura 12-4). Los valores máximos de COT se registraron en las estaciones B. Volcán y E.R. Negro, ubicadas en San Juan de Urabá

y Golfo Alto respectivamente (COT > 5 mg COT/L). No obstante, estos valores estuvieron muy por debajo de las concentraciones registrados en otras zonas del Caribe, como por ejemplo Rincón Hondo en Atlántico, donde se evidenciaron aguas en deterioro con concentraciones de hasta 32,4 mg COT/L, producto de la descomposición de residuos vegetales aledaños y sumergidos.

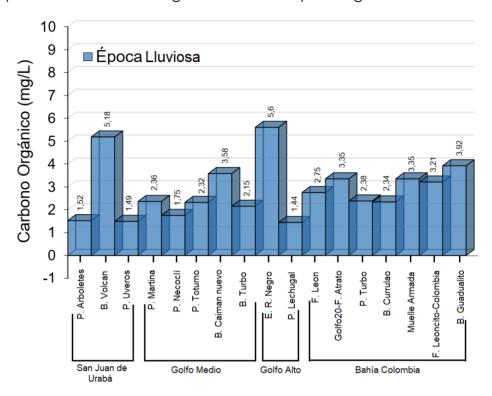


Figura 12-4. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en el departamento de Antioquia. Las barras azules representan la época lluviosa de muestreo (mes de junio del 2021).

#### 12.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

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 primer y segundo muestreo del año 2021 se presentaron concentraciones de CTE en la zona de San Juan de Urabá entre 45 NMP/100 mL y 1.200.000 NMP/100 mL, en Golfo Medio entre 230 NMP/100 mL y 540.000 NMP/100 mL, en Golfo Alto entre 15,6 NMP/100 mL y 79.000 NMP/100 mL, y en Bahía Colombia entre 45 NMP/100 mL y 540.000 NMP/100 mL (Figura 12-5). En la mayoría de estaciones se registraron concentraciones por encima del límite permisible, a excepción de B. Atrato Matuntugo en la época seca; y P. Uveros y P. Lechugal en la época lluviosa. Por otra parte, las concentraciones de CTT variaron entre 230 NMP/100 mL y 9.200.000



NMP/100 mL para la zona de San Juan de Urabá, 330 NMP/100 mL y 920.000 NMP/100 mL en Golfo Medio, 98 NMP/100 mL y 110.000 NMP/100 mL en Golfo Alto, y 330 NMP/100 mL y 920.000 NMP/100 mL para Bahía Colombia.

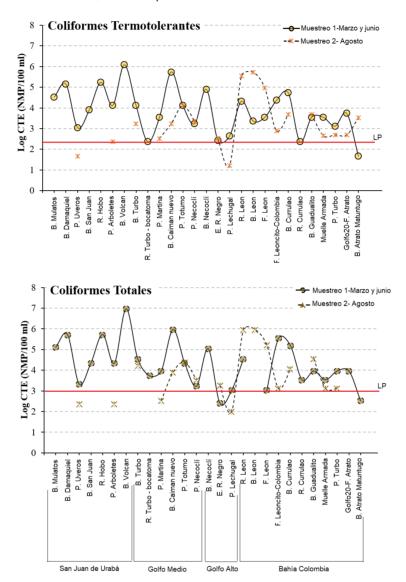


Figura 12-5. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Antioquia, (Muestreo 1 – Marzo y junio) y (Muestreo 2 – Agosto) del 2021. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 ml o 2,3 log (NMP/100 ml) para CTE y 1000 NMP/100 ml o 3 log (NMP/100 ml) para CTT. La línea roja representa cada Limite Permisible (L.P).

En general, las concentraciones de CTT estuvieron por encima del límite permisible para el uso recreativo de las aguas (<1000 NMP/100 mL), no obstante, las estaciones E.R. Negro y B. Atrato Matuntugo mostraron valores por debajo del límite para el primer muestreo realizado en 2021, algo similar a lo encontrado en las estaciones P. Uveros, P. Arboletes, P. Martina y P. Lechugal, en la época lluviosa. Teniendo en

cuenta que este grupo de microorganismos es utilizado como indicador de aguas residuales domésticas (<u>Arias et al., 2016</u>), estos resultados indican la carencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales en las poblaciones urbanas y rurales cercanas a las zonas monitoreadas (<u>MinAmbiente & CORPOURABA, 2007</u>; <u>CMGRD, 2017</u>).

En las zonas muestreadas se observaron concentraciones de EFE que variaron entre 1 y 750 UFC/100 mL, siendo P. Necoclí la estación que presentó el registro más alto (Figura 12-6). La mayoría de estaciones mostraron concentraciones por encima del límite permisible para contacto (100 UFC/100 mL o 2 log UFC/100 mL) propuesto por la <u>Unión Europea</u>, (2006); por el contrario, en las estaciones P. Lechugal y P. Martina las concentraciones de EFE oscilaron entre 1 y 52 UFC/100 ml respectivamente, valores que están por debajo del límite permisible.

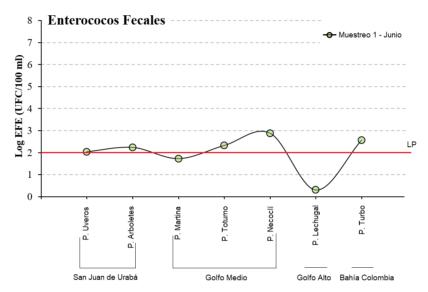


Figura 12-6. Logaritmo de las concentraciones de Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Antioquia, en época lluviosa (Muestreo 1 – Junio) del 2021. El valor de referencia del límite permisible corresponde a 100 UFC/100 ml o 2 log (UFC/100 ml). La línea roja representa el Limite Permisible (L.P).

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 cumplimento medio y bajo con respecto a los valores de referencia establecidos para el uso recreativo de contacto primario, concentraciones menores a 200 NMP/100 mL de CTE y <1000 NMP/100 mL de CTT (MinAmbiente, 2015) (Figura 12-7). En el 2021 se dio inicio a las mediciones de EFE en las estaciones anteriormente mencionadas (Figura 12-7); a excepción de P. Martina y P. Lechugal, en las demás estaciones las concentraciones de EFE, estuvieron por encima del límite permisible para uso recreativo de contacto (<100 UFC/100 mL de EFE), establecido por Unión Europea, (2006).

En las estaciones de uso turístico del departamento de Antioquia, es necesario hacer una intervención inmediata orientada al mejoramiento de la calidad de las aguas, lo anterior basado en los registros históricos de coliformes. Las mayores concentraciones



de CTE en la última década se presentaron en las estaciones P. Lechugal 3.500 NMP/100 mL en 2015; Necoclí 54.000 NMP/100 mL en 2016; P. Uveros 9.400 NMP/100 mL en 2016; P. Arboletes 240.000 NMP/100 mL en 2016 y B. Damaquiel 580.000 NMP/100 mL en 2017. Para CTT las concentraciones más altas se registraron en P. Arboletes 16.000.000 NMP/100 mL en 2014; B. Damaquiel 2.400.000 NMP/100 mL en 2016; P. Lechugal 24.000 NMP/100 mL en 2017; P. Uveros 241.960 NMP/100 mL en 2017 y P. Totumo 173.290 NMP/100 mL en 2017. En el 2021 las concentraciones máximas registradas para estas estaciones variaron entre 440 y 140.000 para CTE; y entre 1.080 y 540.000 para CTT, lo que indica el incumpliendo de los límites permisibles para el uso recreativo.

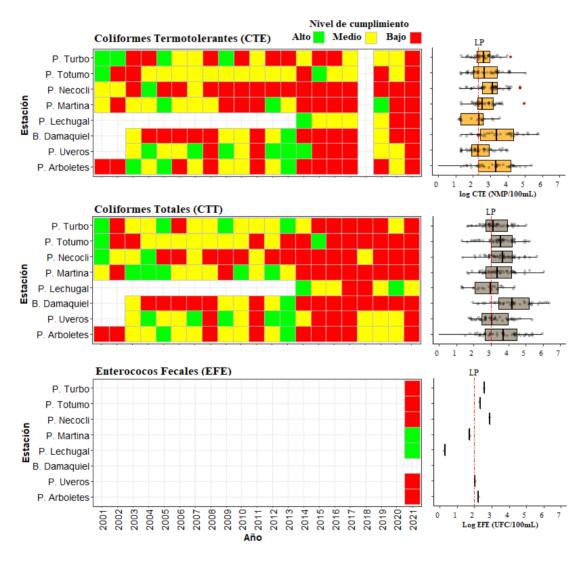


Figura 12-7. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Antioquia. La escala de valoración del nivel de cumplimento corresponde a: 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% (>=50y < 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.

### 12.2 Calidad sedimentos marinos y costeros

El análisis de los metales cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn) y mercurio (Hg) se realizó en sedimentos de las estaciones R. León, B. Atrato Matuntugo y R. Turbo-bocatoma, durante la época seca (mes de marzo) y época lluviosa (mes de agosto) del 2021. En la estación B. Atrato Matuntugo, las concentraciones de cobre (Cu) en la época lluviosa fueron 103 µg Cu/g y en la época seca 96,2 µg Cu/g valores por encima de la referencia para efectos lumbral (TEL; <u>Buchman, 2008</u>) (Figura 12-8a). Las concentraciones de Pb, Zn y Hg en todas las estaciones estuvieron por debajo del valor de referencia TEL (<u>Buchman, 2008</u>). Cabe destacar que las concentraciones de Pb en las dos épocas climáticas estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM (Pb= 0,8 µg Pb/g), con excepción de la estación R. Turbo – bocatoma, en la época seca (Figura 12-8b).

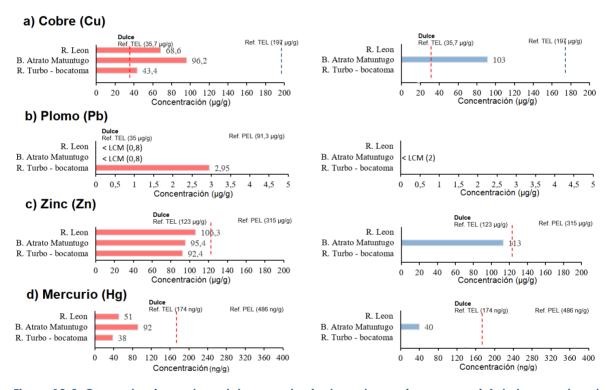


Figura 12-8. Concentraciones de metales pesados (cobre, plomo, zinc y mercurio) de las muestras de sedimentos de agua dulce recopiladas en época seca (barras rojas –marzo) y época lluviosa (barras azules– agosto) del 2021, en las estaciones REDCAM distribuidas en el departamento de Antioquia. El valor de referencia TEL y PEL se referencia en cada gráfico.

En las estaciones marinas y estuarinas, las concentraciones de Cu en las dos épocas climáticas, estuvieron por encima del valor de referencia TEL (18,3 µg Cu/g; Buchman, 2008); en el registro histórico, de las estaciones monitoreadas, las concentraciones de este metal han estado en rangos similares (INVEMAR, 2022). Las concentraciones de los metales Pb, Zn y Hg, estuvieron por debajo de los valores de referencia TEL en todas las estaciones monitoreadas, con excepción de B. Currulao



que presentó una concentración de Mercurio de 393 ng Hg/g en época seca, la cual superó el valor de referencia TEL de 130 ng Hg/g, la cual disminuyó en la época lluviosa a 37 ng Hg/g (Figura 12 9).

El Hg se encuentra en el ambiente como resultado de procesos geoquímicos naturales y actividades antrópicas (Kontas, 2006, Holmes et al., 2009), la variabilidad que se registró entre las dos épocas y particularmente la alta concentración medida en la época seca del año 2021, indica que en la zona es probable que haya una fuente de contaminación por este metal, asociado a vertimientos domésticos y a productos derivados de actividades ganaderas y agrícolas, los cuales favorecen la acumulación de metales en los sistemas estuarinos (Feria et al., 2010, Marrugo et al., 2017) como el golfo de Urabá. Por otra parte, la predominancia de arcillas y los limos en el sector de B. Currulao (Thomas et al., 2007; Vallejo-Toro et al., 2016), pueden acumular mayor cantidad de metales como el Hg, debido a que tienen una mayor área superficial (Guven & Akinci, 2013), los cuales pueden ser liberados a la columna de agua por variaciones climáticas. Considerando la toxicidad del Hg, se debe continuar con el monitoreo y fortalecerlo con la recolección de muestras de sedimentos para análisis de materia orgánica y granulometría, lo cual permitirá correlacionar y afianzar la interpretación de los resultados.

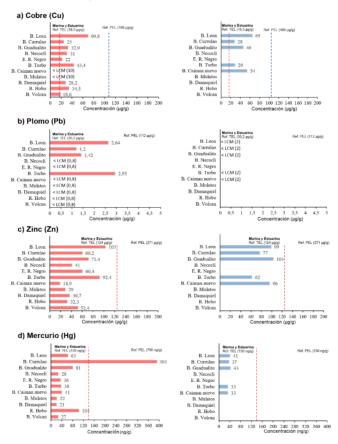
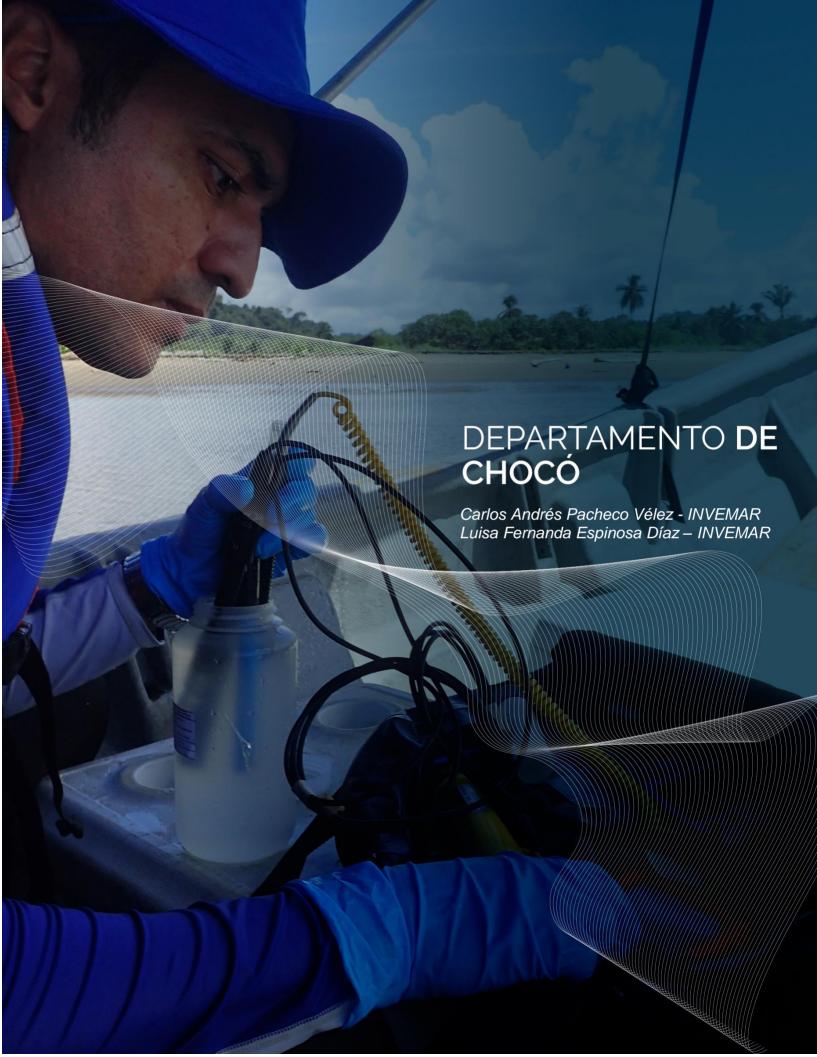


Figura 12-9. Concentraciones de metales pesados (Cobre, Plomo, Zinc y Mercurio) de las muestras de sedimentos de agua estuarina y marina recopiladas en época seca (barras rojas –marzo) y época lluviosa (barras azules– agosto) del 2021, en las estaciones REDCAM distribuidas en el departamento de Antioquia. El valor de referencia TEL y PEL se referencia en cada gráfico.

### 12.3 Conclusiones y recomendaciones

- El análisis del índice de calidad del agua marino costera ICAMPFF, mostró que en la estación B. Volcán, la calidad del agua tiene pésimas condiciones para la preservación de la flora y fauna, principalmente por las altas concentraciones de nutrientes y Coliformes Termotolerantes. En las estaciones F. León, P. turbo y B. Caimán Nuevo, las condiciones de calidad fueron inadecuadas. Debido a estos resultados, se recomienda realizar acciones para el mejoramiento de la calidad ambiental marina de la zona y mantener el seguimiento de las concentraciones de nutrientes y coliformes que son la principal causa del deterioro de estas estaciones.
- En general el comportamiento de la calidad de las aguas marinas y costeras durante los últimos años ha sido similar, y se debe principalmente a las descargas de aguas residuales domesticas de los municipios ubicados en el Golfo de Urabá, que a la fecha no realizan el tratamiento del 100% de sus aguas residuales.
- Las playas turísticas Turbo, Totumo, Necoclí, Martina, Lechugal, Damaquiel, Uveros y Arboletes en los últimos 5 años han presentado condiciones inadecuadas para su uso recreativo, al presentar concentraciones de Coliformes Termotolerantes y totales por encima de los criterios establecidos por la normatividad colombiana. Se requiere realizar acciones de manejo que contribuyan al mejoramiento de las condiciones ambientales de estas playas.
- La presencia de cobre en los sedimentos de las estaciones monitoreadas tanto de agua dulce como estuarinos y marinos que sobrepasaron los valores de referencia TEL propuestos por la NOAA, muestran la necesidad de realizar investigación que permita identificar si son niveles naturales o provienen de algunas fuentes de contaminación, para poder tomar medidas de control. Además, el valor de mercurio reportado en la estación B. Currulao es preocupante, por lo que se hace necesario evaluar el estado ecológico de la bahía, las fuentes de contaminación de este metal y desarrollar medidas preventivas para mitigar el impacto.



## 13. DEPARTAMENTO DE CHOCÓ

El departamento de Chocó tiene costa en el Caribe y Pacífico colombianos, abarcando parte de los municipios de Acandí y Unguía en el Caribe, y Juradó, Bahía Solano, Nuquí, Bajo Baudó y Litoral del San Juan, en el Pacífico, donde la población humana al 2020 fue de ~114.105 habitantes (DANE, 2021) Es una de las zonas más lluviosas del país, con precipitaciones promedio multianuales entre 3.000 a 9.000 mm. en las áreas marina y costeras hay presencia de manglares, algunos parches de pastos marinos, formaciones coralinas, playas, estuarios y acantilados (Gómez-Cubillos et al., 2015). Las principales fuentes de contaminación marina en Chocó 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 (Figura 4-14).

En el departamento de Chocó, la REDCAM tiene 16 estaciones de muestreo, distribuidas en dos zonas (Figura 13-1). La zona Bahía Solano, caracterizada por la presencia de la serranía del Baudó, donde se realizan actividades de pesca, y de turismo, como el avistamiento de ballenas; y la zona Golfo Tribugá, que comprende desde playa Almejal hasta Nuquí. En esta zona se encuentra el Parque Nacional Natural Utría y la Ensenada de Tribugá, sitios estratégicos para la conservación de la fauna y flora marina y costera. Desde el 2002, el monitoreo REDCAM en este departamento se ha realizado en cooperación entre el INVEMAR y la Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó - CODECHOCÓ.



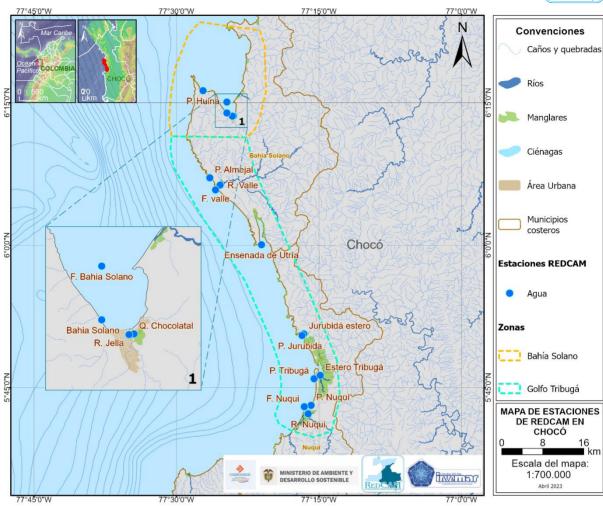


Figura 13-1. Mapa con las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Chocó. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial y los puntos rosados corresponden a estaciones donde se muestrea microplásticos en arena de playa. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

### 13.1 Calidad de aguas marinas y costeras

### 13.1.1 Calidad de agua para la preservación y protección de flora y fauna

Los análisis históricos (2001 a 2021) de salinidad para las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, permitieron clasificar los tipos de agua en marinas, estuarinas y dulces según los rangos para tipo de agua establecidos por Knox (2001). De las 16 estaciones analizadas, 68,8% se calificaron como agua marina (n=11), 18,8% como agua estuarina (n=3) y 12,5% como agua dulce (n=2) (Figura 13-2). Por otra parte, para el análisis entre épocas, se tuvo en cuenta la variación de las lluvias propia de la región del Pacífico colombiano y la ausencia de una temporada seca definida, por lo que fueron reconocidos dos periodos, designados como periodos de bajas y altas precipitaciones. Este análisis permitió observar que no existen grandes cambios entre los valores de salinidad del agua superficial entre las dos épocas definidas

(Figura 13-2). Sin embargo, en la representación boxplot se logra observar un amplio rango en la distribución de los datos, lo que indica una variación en los valores de salinidad que pueden estar influenciados por los cambios en las condiciones mareales características de la zona (Martínez et al., 2014).

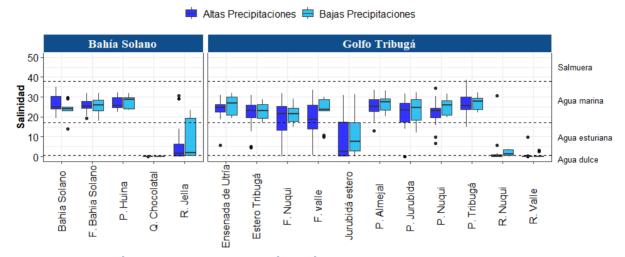


Figura 13-2. Gráfico de caja de la variación histórica (2001-2021) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Chocó, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los 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).

Para el año 2021, la estimación del ICAM<sub>PFF</sub> se realizó con la información recolectada en el muestreo del mes de noviembre (altas precipitaciones). El ICAM, se pudo estimar en 12 estaciones distribuidas en Bahía Solano y el Golfo Tribugá. El 50% de las estaciones evaluadas estuvieron en calidad adecuada (Bahía Solano, P. Almejal, F. Valle y P. Tribugá); un 25% en calidad aceptable (Estero Tribugá y P. Nuquí) y un 25% en calidad inadecuada (Jurubidá Estero y F. Nuquí). No se presentaron estaciones con calidad pésima (Figura 13-3).

El análisis detallado por estaciones mostró para el año 2021 un aumento de sitios con condiciones de calidad del agua aceptable y adecuada (Figura 13-3). Particularmente Bahía Solano, P. Almejal, F. Valle y P. Nuquí, las cuales presentaron condiciones aceptables e inadecuadas en el año 2019. Sin embargo, las estaciones Jurubidá Estero y F. Nuquí mantienen la tendencia histórica. Esta situación evidencia la influencia que tienen las precipitaciones sobre la calidad del agua en Tribugá y Nuquí, debido al incremento de escorrentías urbanas y agrícolas que finalizan sus recorridos en el río Jurubidá y el río Nuquí, trayendo consigo residuos líquidos y sólidos producidos por la población (INVEMAR 2020a). Además, la calidad ambiental marina se ve influenciada por la baja cobertura del sistema de alcantarillado que presenta la zona de Nuquí (37%) (Gobernación del Chocó, 2020), donde algunas viviendas vierten las aguas residuales hacia las quebradas o directamente al mar (Solano, 2012).



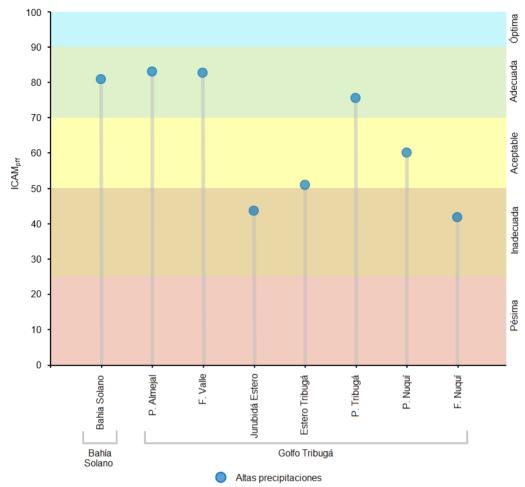


Figura 13-3. Calidad de agua superficial ICAM<sub>PFF</sub> para el año 2021, en las estaciones marinas y costeras del departamento de Chocó.

El Carbono Orgánico Total (COT), se analizó en las estaciones ubicadas en la zona de Bahía Solano y el Golfo Tribugá. Las concentraciones oscilaron entre 0,78 y 2,91 mg COT/L (Figura 13-4). Las mayores concentraciones se registraron en las estaciones R. Nuquí (2,91 mg COT/L) que tiene características estuarinas y en Bahía Solano (1,87 mg COT/L) que tiene características marinas.

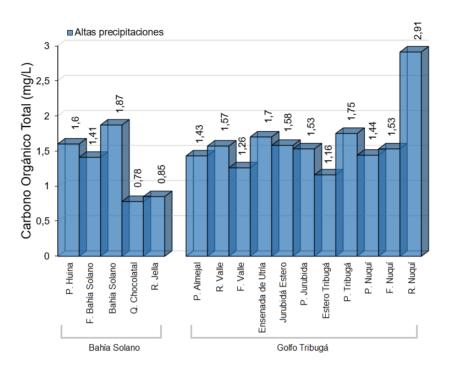


Figura 13-4. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en 2021 época de altas precipitaciones en el departamento de Chocó.

#### 13.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

Para determinar la calidad sanitaria del agua en las playas turísticas de P. Huina, Bahía Solano, P. Almejal, P. Jurubidá, P. Tribugá, P. Nuquí, P. Capurganá y P. Triganá, se analizaron los Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE), cuyas concentraciones se contrastaron con los niveles de cumplimiento frente a los límites permisibles para uso recreativo de contacto primario de <200 NMP/100 mL de CTE, <1.000 NMP/100 mL (MinAMbiente, 2015) y <100 UFC/100 mL (Unión Europea, 2006).

En el muestreo del año 2021, el 44% de las estaciones ubicadas en la zona de Bahía Solano y el Golfo Tribugá (Bahía Solano, Q. Chocolatal, R. Jella, R. Valle, P. Tribugá, F. Nuquí y R. Nuquí), presentaron concentraciones de CTE por encima del límite permisible para contacto primario (200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL). El 25% de las estaciones (Q. Chocolatal, R. Jella, R. Valle y R. Nuquí) mostraron altas concentraciones de CTT, las cuales estuvieron sobre el límite permisible (1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL). La estación Bahía Solano fue la única que registró concentraciones de EFE sobre el límite permisible (100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL) (Figura 13-5).



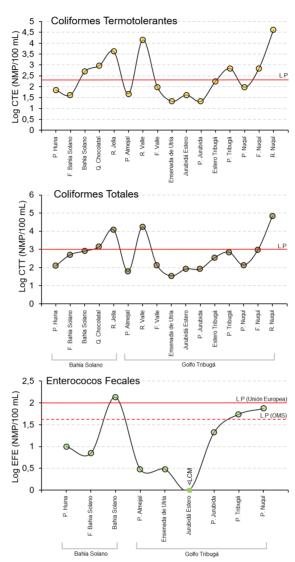


Figura 13-5. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Chocó, muestreo 2021. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE, 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT y 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL). Línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL). L.P: Limite Permisible.

Los registros históricos de las concentraciones de CTE y CTT mostraron en la mayoría de años un nivel de cumplimiento medio y bajo en las estaciones P. Jurubidá, Bahía Solano y P. Nuquí. En el año 2021, P. Jurubidá y P. Nuquí presentaron niveles de cumplimiento alto; mientras que Bahía Solano y P. Tribugá no cumplieron con el límite permisible de calidad de agua para uso recreativo establecido por MinAmbiente (2015) (CTE<200 NMP/100 mL). Este comportamiento está relacionado tanto con factores climáticos marcados por las altas precipitaciones del sector, como por factores antrópicos, asociados a las actividades turísticas y a las descargas directas de aguas residuales en las áreas de estas playas. Cabe resaltar que en las estaciones

P. Nuquí, P. Jurubidá, P. Almejal y P. Huina, se evidenció una mejoría de la calidad del agua, ya que las concentraciones de CTE el año 2019, estaban en niveles de cumplimiento bajo y en el 2021 estaban en un nivel alto; por otra parte, las concentraciones de CTT en todas las estaciones muestreadas presentaron un nivel de cumplimiento alto (Figura 13-6).

Las mayores concentraciones de EFE se registraron en P. Nuquí, 288 UFC/100 mL (abril 2017) y 140 UFC/100 mL (septiembre 2018) y Bahía Solano 134 UFC/100 mL (noviembre 2021) (Figura 13-6). Estos organismos están asociados a contaminación de origen fecal, lo que evidencia la falta de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

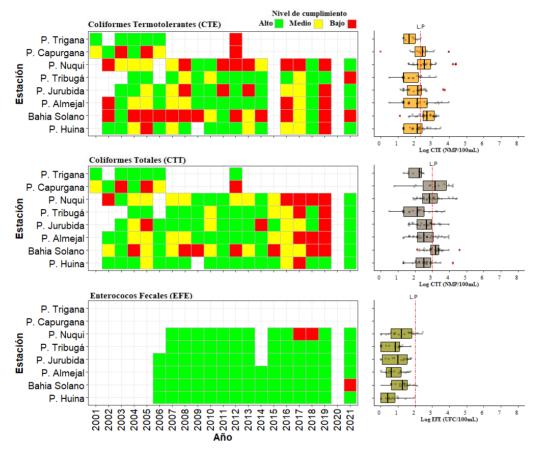


Figura 13-6. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Chocó. La escala de valoración del nivel de cumplimento corresponde a:

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.



### 13.2 Contaminación por microplásticos en playas turísticas

En la evaluación de microplásticos realizada en noviembre del año 2022 (altas precipitaciones) en arena de tres playas turísticas del departamento de Chocó, Playa Jurudibá, Playa Nuquí y Playa Tribugá, se encontraron estos contaminantes únicamente en Playa Tribugá con 860 ítems/m² (Figura 13-7 a). Este valor encontrado es mayor con relación a lo reportado por Garcés-Ordóñez et al. (2020a), quienes registraron valores inferiores a 300 ítems/m² en el Pacífico chocoano. La ausencia de microplásticos en las playas Jurubidá y Nuquí podría deberse a la recolección de basura y limpieza de las playas realizada frecuentemente por parte de comerciantes y hoteleros del sector. En la costa del Pacífico, pocas playas son utilizadas con fines recreativos, sin embargo, el desarrollo socio-económico y la dinámica costera juegan un papel importante en la distribución de los microplásticos en los ecosistemas marinos costeros, ya que la marea en la costa del Pacífico facilita la exportación de macrobasura desde las zonas urbanas a las playas rurales, donde finalmente se acumulan y se degradan por diversos factores como la luz ultravioleta, vientos y corrientes marinas (Garcés-Ordóñez et al., 2020a).

Las formas de microplásticos más abundantes en Playa Tribugá fueron de origen secundario, conformado por fragmentos con 62,23% y espumas con 26,23%; mientras que los pellets, microplásticos de origen primario se presentaron en menor proporción, 11,53% (Figura 13-7 b). La presencia de pellets puede asociarse a los productos de aseo personal y del hogar, que en algunos casos son depositados directamente en los ríos que tributan en Playa Tribugá. Las malas prácticas de gestión de residuos y la baja cobertura del sistema de alcantarillado que presenta la zona de Nuquí (37%; Gobernación del Chocó, 2020) facilitan la introducción de microplásticos a través de los ríos que reciben estos contaminantes directamente (INVEMAR, 2018).

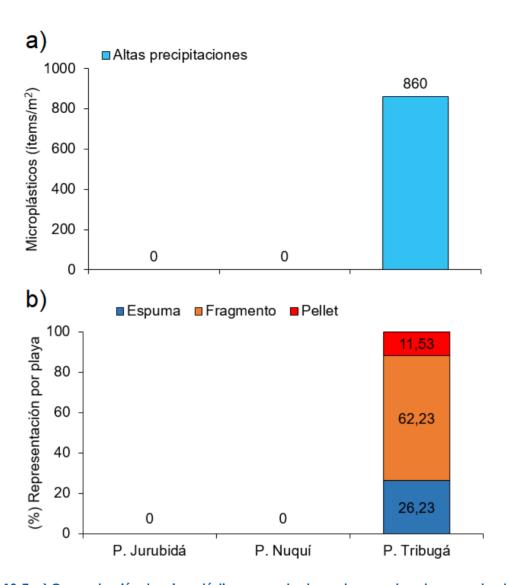
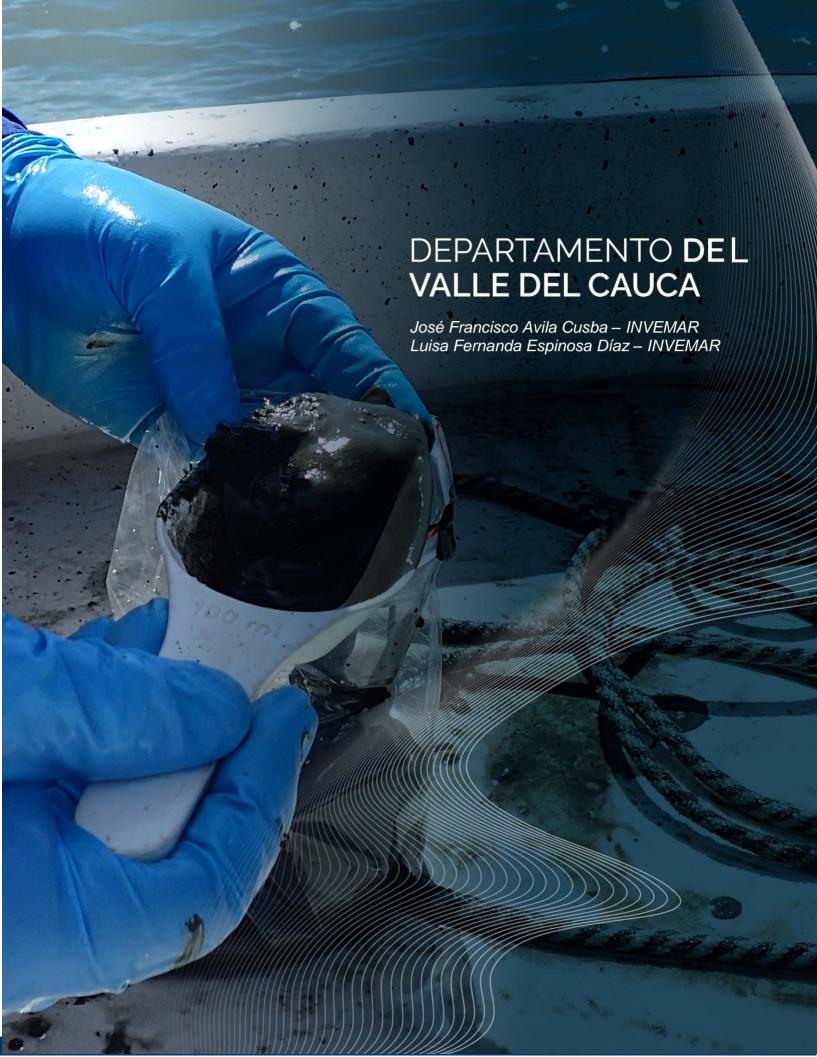


Figura 13-7. a) Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playa de Chocó. b) Porcentajes de representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas de Chocó colectados en el muestreo realizado en noviembre (altas precipitaciones) de 2022.



### 13.3 Conclusiones y recomendaciones

- El análisis del ICAM<sub>PFF</sub>, mostró que, en la época de altas precipitaciones del año 2021, la calidad del agua de las estaciones Jurubidá Estereo y F. Nuquí fue inadecuada, debido a las bajas concentraciones de clorofila a y altas concentraciones de Coliformes, cuya fuente principal es el vertimiento directo de aguas residuales, producto de la ausencia o deficiente sistema de alcantarillado. Es necesario mejorar la cobertura de alcantarillado en los municipios del departamento y generar acciones para disminuir las descargas de aguas residuales, las cuales provocan el constante deterioro de la calidad del agua.
- La calidad sanitaria de playas Tribugá y Bahía Solano, no son adecuados para actividades turísticas o recreativas para contacto primario, ya que las concentraciones de CTE están por encima de los límites establecidos por la legislación nacional. Lo cual evidencia que existe contaminación microbiológica asociada al vertimiento de aguas residuales.





## 14. DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA

El departamento del Valle del Cauca se encuentra ubicado en el Pacífico colombiano y su zona costera abarca parte del municipio Buenaventura, donde la población a 2020 fue de ~311.827 habitantes (DANE, 2021). En el departamento hay precipitaciones constantes durante todo el año, con promedio multianuales entre 7.000 y >11.000 mm (IDEAM, 2021a). En las áreas marina y costeras predominan estuarios, manglares y playas, entre otros (Gómez-Cubillos et al., 2015). Las principales fuentes de contaminación marina son los vertimientos de aguas residuales y residuos sólidos de la población costera, residuos de la minería, las escorrentías agrícolas y de áreas de ganadería, los residuos de la industria pesquera y del puerto de Buenaventura (Figura 4-14) uno de los más importantes de la región del Pacífico Colombiano (INVEMAR, 2018).

En el departamento del Valle del Cauca la REDCAM tiene 56 estaciones de muestreo distribuidas en cuatro zonas (Fiaura 14-1). La zona Bahía Málaga que es la de mayor interés turístico, debido a las playas de arena y por hacer parte de la ruta de migración estacional de ballenas Yubartas, además se encuentra el Parque Nacional Natural Uramba Bahía Málaga, que está articulado con el Distrito de Manejo Integrado y el Parque Regional Natural la Sierpe; la zona Buenaventura Urbana que constituve el interior de la Bahía de Buenaventura, siendo el lugar en donde se desarrollan la mayor parte de las actividades comerciales y portuarias; la zona Buenaventura Afuera que corresponde a la entrada de la región de la Bocana, encontrando al norte las playas de Piangüita y la Bocana y al sur Isla Soldado, los esteros brazo largo y Machetagedó, donde desembocan los ríos Potedó y Anchicayá. Finalmente, en la zona Costa Sur Buenaventura, donde se ubican estaciones sobre el río Raposo (Figura 14-1). Desde el 2001, el monitoreo REDCAM en Valle del Cauca es realizado por la Corporación Regional del Valle del Cauca - CVC, con el apoyo del INVEMAR en algunos análisis de laboratorios durante momentos puntuales.

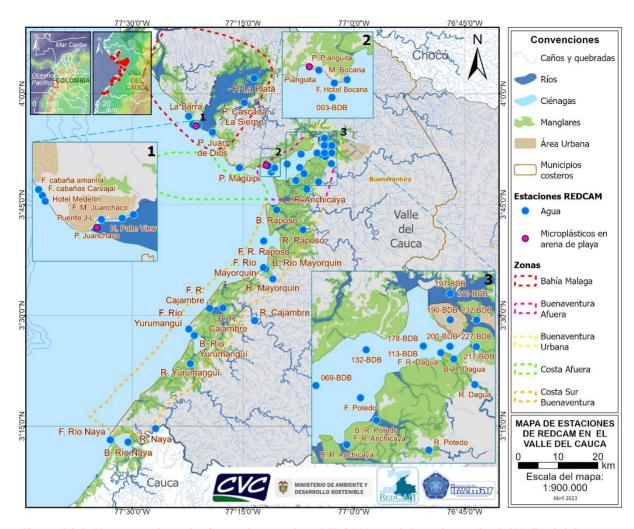


Figura 14-1. Mapa con las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento del Valle del Cauca. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial y los puntos rosados corresponden a estaciones donde se muestrea microplásticos en arena de playa. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

### 14.1 Calidad de aguas marinas y costeras

#### 14.1.1 Calidad de agua para la preservación y protección de flora y fauna

Con base en los registros de salinidad recopilados entre los años 2001 y 2021, de las 56 estaciones REDCAM monitoreadas en el departamento del Valle del Cauca, solo fueron consideradas 43 para el análisis debido a la ausencia de datos. Se determinó a partir de la clasificación de los valores de salinidad propuesto por Knox (2001), que el 58% (n=25) de las estaciones corresponden a agua estuarina, el 28% (n=12) a agua marina y un 14%; (n=6) a agua dulce (Figura 14-2). El grupo de estaciones ubicadas en la zona de Buenaventura Urbana y Buenaventura Afuera presentaron en su mayoría características propias de tipo estuario. Estos resultados se deben a las características oceánicas y costeras que presenta la configuración geográfica de



ambas zonas, pues en ellas coinciden procesos marinos y fluviales. En cambio, la mayoría de estaciones distribuidas en la zona de Bahía Málaga y Costa Afuera presentaron rangos de salinidad de tipo agua marina, cuyas zonas conectan directamente con el mar abierto. Cabe precisar que los valores más altos de salinidad se registran para el periodo de bajas precipitaciones y una disminución de la salinidad durante los periodos de altas lluvias similar a lo descrito por Otero et al. (2002).

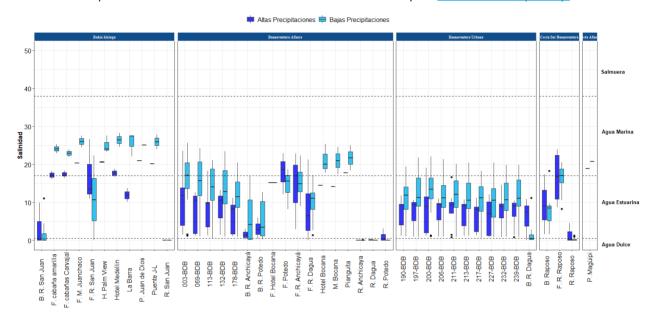


Figura 14-2. Boxplot de la variación histórica (2001 hasta 2021) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento del Valle del Cauca, diferenciado por zona y época de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es 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).

Las estaciones distribuidas en la zona de Buenaventura Urbana y cerca de esta, como las estaciones 227, 239, 200-Bahía Buenaventura y F. R. Dagua, presentaron para la época de altas precipitaciones valores ICAM<sub>PFF</sub> entre 49,6 y 67,2, evidenciando una calidad del agua inadecuada y aceptable, como consecuencia de las concentraciones de nutrientes y coliformes termotolerantes provenientes de actividades productivas que son transportados por los ríos, esteros y vertimientos de aguas residuales, agrícola e industrial, lo cual deterioran la calidad del agua de la bahía (CVC-INVEMAR, 2015; INVEMAR, 2016). Por otro lado, estaciones ubicadas costa afuera, como las estaciones 113, 003-Bahía Buenaventura, P. Maguipi, F. Hotel Bocana y La Barra presentaron, valores ICAM<sub>PFF</sub> entre 71,5 y 89,3, y una calidad del agua adecuada (Figura 13-3).

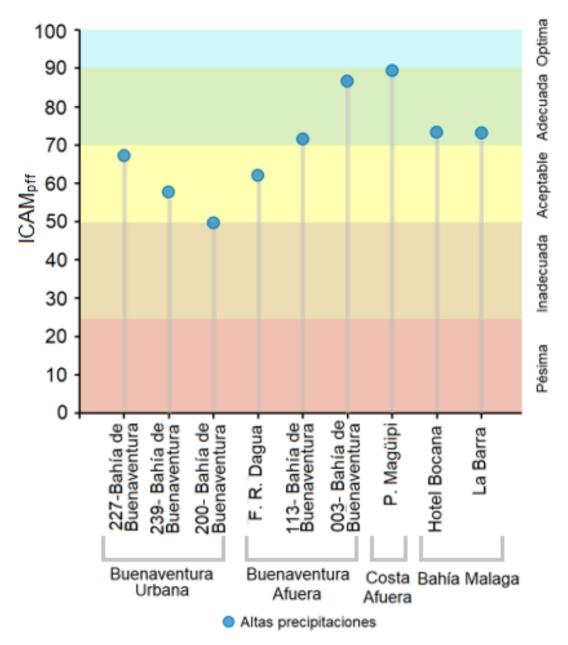


Figura 14-3. Calidad de agua superficial ICAM<sub>PFF</sub> para época de altas precipitaciones (Muestreo 1 – noviembre del 2021), en las estaciones marinas y costeras del departamento del Valle del Cauca.

El Carbono Orgánico Total (COT) se evaluó en agua colectada durante la época de altas precipitaciones (noviembre de 2021), en las estaciones Bahía Málaga, Buenaventura afuera, Buenaventura urbana, costa afuera y Costa sur Buenaventura. Las concentraciones de COT fluctuaron entre 0,71 y 2,18 mg COT/L (Figura 14-4). El COT se origina de la descomposición de organismos vegetales y animales (Calva et al., 2006), y también puede provenir de efluentes industriales que utilizan compuestos orgánicos.



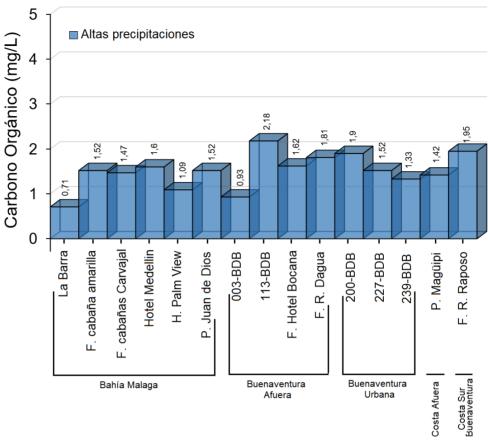


Figura 14-4. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en las estaciones REDCAM distribuidas en el departamento del Valle del Cauca. Las barras azules representan la época de altas precipitaciones del muestreo realizado en el mes de noviembre del 2021).

#### 14.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

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 primer muestreo del año 2021, realizado en el mes de abril, se registraron concentraciones de CTE en la zona de Bahía Málaga entre <LCM (3) y 230 NMP/100 mL, en Buenaventura Afuera entre 9 y 9.300, en Buenaventura Urbana entre 210 y 24.000 NMP/100 mL, y Costa Sur Buenaventura entre <LCM (3) y 2.400 NMP/100 mL (Figura 14-5). Para el segundo muestreo realizado entre agosto y septiembre, 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 entre 4 y 9.000 NMP/100 mL en Costa Sur Buenaventura.

Las concentraciones de CTT en el primer muestreo del 2021 variaron entre <LCM (3) y 930 NMP/100 mL para la zona de Bahía Málaga, entre 23 y 4.300 NMP/100 mL en Buenaventura Afuera y, entre 23 y 93.000 NMP/100 mL en Buenaventura Urbana y Costa Sur Buenaventura. Las altas concentraciones de este grupo de microorganismos son indicadoras de descargas de aguas residuales domésticas, lo cual muestra la deficiencia o ausencia de sistemas de tratamientos de aguas residuales (Arias et al., 2016).

En lo referente a los EFE, se evidenció una variación entre 1 y 12 UFC/100 mL en las estaciones F. cabaña amarilla, F. cabañas Carvajal, Hotel Medellín, H. Palm View y P. Juan de Dios, situadas en la zona de Bahía Málaga. En las estaciones F. Hotel Bocana y P. Magüipi, ubicadas en Buenaventura Afuera y Costa Afuera respectivamente, se registraron concentraciones por debajo de los 12 UFC/100 mL EFE (Figura 14-5).

Las concentraciones más altas de CTE y CTT, se registraron en las estaciones situadas hacía el interior de la Bahía de Buenaventura, principalmente hacia la zona de Buenaventura Urbana, la cual tiene presencia de las descargas de ríos y esteros, además del emisario submarino. Algunos estudios de modelación han indicado la amplia dispersión que pueden experimentar estos vertimientos y contaminantes (Barbosa, 2018), la cual se extiende hacia zonas más amplias como la zona de Buenaventura Afuera, influenciadas por diversos factores, incluyendo la acción de la marea y las descargas de los ríos y esteros.



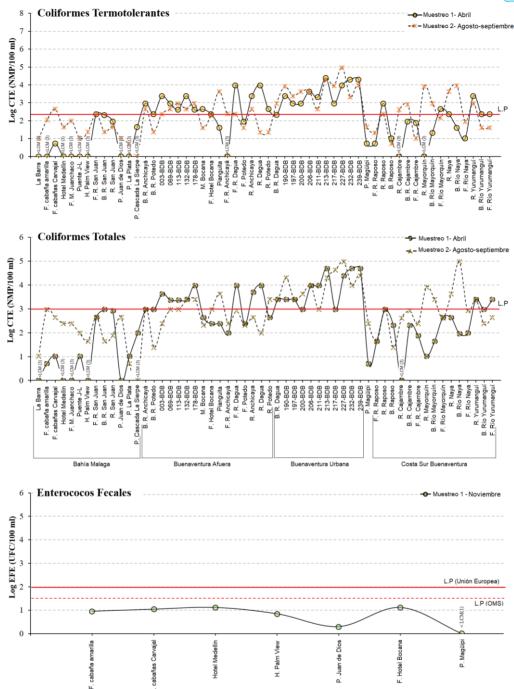


Figura 14-5. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Valle del Cauca, (Muestreo 1 – Abril) y (Muestreo 2 – Agosto y septiembre) del 2021. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 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 y 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL) para EFE. Línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL). L.P: Limite Permisible.

Las concentraciones de CTE y CTT registradas en el 2022, muestran tendencias similares a las reportadas en el 2021. Las concentraciones de CTE en el primer muestreo realizado en los meses abril y mayo variaron entre <LCM (3) y 4.300 NMP/100 mL en Bahía Málaga y Buenaventura Afuera, entre <LCM (3) y 93.000 NMP/100 mL en Costa Sur Buenaventura y entre 400 y 930.000 NMP/100 mL en Buenaventura Urbana, donde se evidenció el mayor aumento de estas concentraciones con respecto al 2021 (Figura 14-6). Para el segundo muestreo realizado en agosto-septiembre, las concentraciones variaron entre <LCM (3) y 4.300 NMP/100 mL en las estaciones de Bahía Málaga y Buenaventura Afuera, entre 360 y 240.000 NMP/100 mL en Buenaventura Urbana y, entre <LCM (3) y 900 NMP/100 mL en Costa Sur Buenaventura.

Las concentraciones de CTT fueron variables en ambas épocas de muestreo. En el primer muestreo, realizado entre abril y mayo, las concentraciones de CTT fluctuaron entre 21 y 4.300 NMP/100 mL en las estaciones situadas en Bahía Málaga, entre 90 y 9.300 NMP/100 mL en la zona de Buenaventura Afuera, entre 930 y 5.000.000 NMP/100 mL en Buenaventura Urbana y entre 43 y 240.000 NMP/100 mL en Costa Sur Buenaventura. En el segundo muestreo, realizado en los meses agosto y septiembre, las concentraciones variaron entre 4 y 4.300 NMP/100 mL en Bahía Málaga, entre 230 y 24.000 NMP/100 mL en Buenaventura Afuera, entre 2.400 y 24.000 en Buenaventura Urbana y, entre 9 y 24.000 NMP/100 mL en Costa Sur Buenaventura.

Cabe mencionar que las concentraciones más altas de CTE y CTT se registraron en las estaciones 213 y 227-Bahía de Buenaventura, situadas en la zona de Buenaventura Urbana y F. Rio Yurumanguí ubicada en Costa Sur Buenaventura (Figura 14-6).



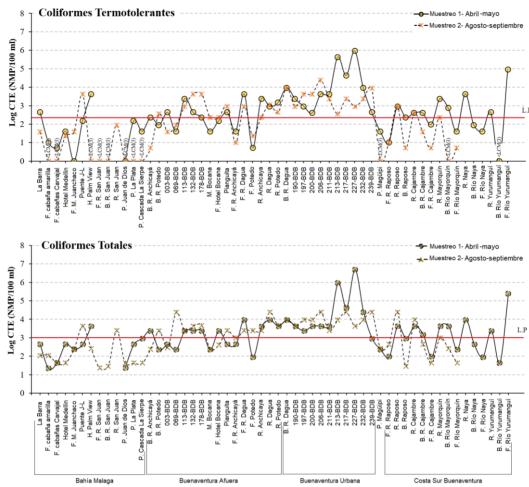


Figura 14-6. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Coliformes Totales (CTT) en las estaciones REDCAM Valle del Cauca, (Muestreo 1 – Abril-mayo) y (Muestreo 2 – Agosto y septiembre) del 2022. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 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.

El registro histórico de las concentraciones de CTE y CTT, muestra que entre 2001 y 2004, el 62% de las estaciones de la Bahía de Buenaventura, tenían concentraciones de estos microorganismos en niveles de cumplimento medio 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). Entre el 2008 y el 2015, los niveles de cumplimiento en la mayoría de estaciones fueron bajos, evidenciándose concentraciones de hasta 66.000 NMP/mL de CTE y 110.000 NMP/100 mL de CTT; estas condiciones desfavorables se asocian a los efectos del fenómeno climático La Niña, durante el cual se presentaron fuertes precipitaciones entre los años 2007 y 2008 y de 2010 a 2012 (IDEAM, 2017), aumentando la escorrentía o arroyos urbanos que arrastran estos microorganismos de origen fecal producto de las descargas de aguas residuales que terminan en las desembocaduras o estaciones monitoreadas. A partir del año 2016 los niveles de cumplimiento en las estaciones monitoreadas mejoraron, a excepción de Piangüita, estación ubicada en la zona de Buenaventura Afuera, la

cual ha presentado históricamente niveles de cumplimiento medio y bajo para CTE y CTT (Figura 14-7). Entre 2021 y 2022, se han presentado niveles de cumplimiento medio en las estaciones H. Palm View, Puente J-L, F.M Juanchaco, hotel Medellín, F. Cabañas Carvajal, F. Cabaña amarilla y La Barra.

En relación a los EFE no existe un monitoreo constate para esta variable, por lo cual no se logra evidenciar cambios del nivel de cumplimiento entre los diferentes años. Sin embargo, en los años 2009, 2019 y 2021 los niveles de cumplimiento en la mayoría de estaciones fueron altos (Figura 14-7).

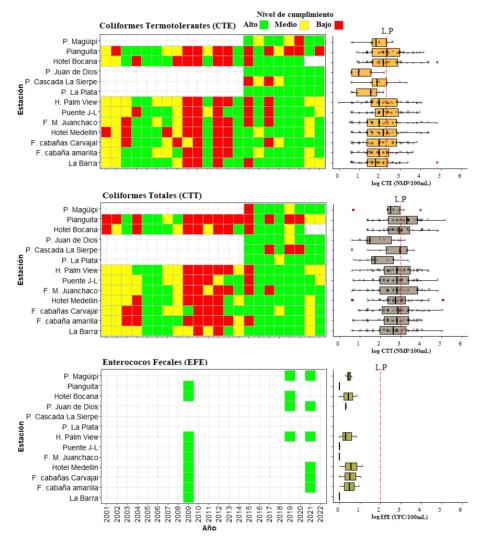


Figura 14-7. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Valle del Cauca. La escala de valoración del nivel de cumplimento corresponde 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% (>=50y < 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.



#### 14.2 Contaminación por microplásticos en playas turísticas

El análisis de microplásticos realizado en septiembre del año 2022, mostró que la abundancia de este contaminante en las estaciones de la Bahía de Buenaventura osciló entre 138,4 y 362,4 ítems/m², presentando las mayores concentraciones en Playa Juanchaco (Figura 14-8). Los valores registrados en Playa Juanchaco son mayores a lo reportado por <u>Garcés-Ordóñez et al. (2020a)</u>, mientras que la concentración en Playa Piangüita fue menor, lo cual se asocia a la actividad turística y recreativa, y a la incidencia de los efectos de la marea que favorece la exportación de desechos plásticos desde zonas urbanas hasta las playas rurales. Las malas prácticas de gestión de residuos en las poblaciones costeras del Pacífico pueden estar relacionadas con la complejidad del medio ambiente (Salas-Salazar, 2016). Por otra parte, en algunas zonas las casas están construidas sobre zancos para mantenerse por encima del nivel del agua, lugares donde generalmente los habitantes arrojan los residuos y posteriormente son arrastrados por la marea alta a los ríos que desembocan en el océano Pacífico (Garcés-Ordóñez et al., 2020a).

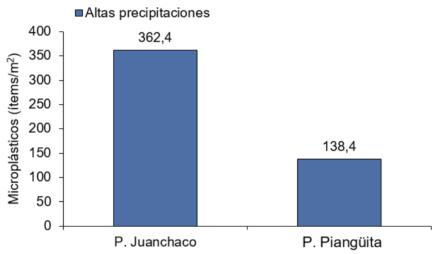


Figura 14-8. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playa de Valle del Cauca colectados en el muestreo realizado en septiembre (altas precipitaciones) de 2022.

Las formas de microplásticos más abundantes fueron de origen secundario, como espumas y fragmentos; mientras que los pellets (origen primario) se presentaron en menor proporción (Figura 14-9). En Playa Juanchaco se registraron espumas con 53,64% y fragmentos con 41,72; así mismo, en Playa Piangüita se encontraron espumas con 61,27% y fragmentos con 25,43%. La presencia de pellets puede asociarse tanto a las actividades marítimas como a las aguas residuales industriales y domésticas que a través de los ríos arrastran productos de aseo personal y del hogar; los microplásticos de origen secundario están relacionados con las actividades turísticas, lo cual coincide con los resultados reportados por <u>Garcés-Ordóñez et al. (2020a)</u>.

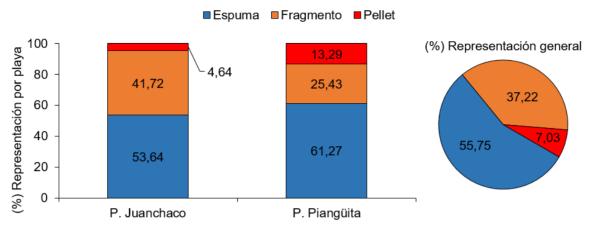


Figura 14-9. Porcentajes de representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas de Valle del Cauca colectados en el muestreo realizado en septiembre (altas precipitaciones) de 2022.



#### 14.3 Conclusiones y recomendaciones

- El análisis del ICAM<sub>PFF</sub> año 2021 en las 9 estaciones de la Bahía de Buenaventura monitoreadas por INVEMAR, mostró una calidad del agua entre aceptable e inadecuada, debido a las altas concentraciones de nutrientes y coliformes que son la principal causa del deterioro. Estos resultados muestran la necesidad de continuar con el seguimiento, determinar las principales fuentes de nutrientes y coliformes y establecer medidas de control, para mejorar la calidad del agua de la Bahía.
- En general las concentraciones de CTE y CTT fueron proporcionalmente similares en todas las estaciones monitoreadas en el 2021 y 2022, no obstante, aquellas situadas en la zona de Bahía Málaga, particularmente donde hay balnearios, presentaron bajos niveles de estos microrganismos. En la estación Piangüita las concentraciones CTE y CTT incumplen con los criterios de la legislación nacional ya que presenta altas concentraciones de bacterias indicadoras de contaminación fecal, lo cual puede estar relacionado a vertimientos de aguas residuales, agrícolas y actividades antrópicas provenientes de los asentamientos humanos. Esta situación muestra que es necesario implementar acciones para disminuir la carga microbiológica y evitar el aumento a futuro de los riesgos sobre la salud humana.
- En la arena de las playas turísticas muestreadas en el departamento de Valle del Cauca en el año 2022, se evidencia contaminación por microplásticos de origen primario y secundario, principalmente en la Playa Juanchaco. La presencia de estos contaminantes se debe al desarrollo de actividades antrópicas que se realizan en la zona marino-costera. Por lo tanto, es importante identificar las principales fuentes de contaminación por microplásticos, dinámica y transporte de este contaminante emergente para proponer estrategias que brinden soluciones integrales y mitigar las afectaciones que se presentan en el ecosistema.





#### 15. DEPARTAMENTO DEL CAUCA

El departamento del Cauca se encuentra en el Pacífico colombiano y su zona costera abarca parte del municipio López de Micay, Timbiquí y Guapi, donde la población a 2021 fue de ~74.000 habitantes (<u>DANE, 2021</u>). En el departamento hay precipitaciones constantes durante todo el año, con promedios multianuales entre 5.000 y >11.000 mm. En la zona marino costera predominan estuarios, manglares, litorales rocosos y se ubican las islas Gorgona y Gorgonilla donde hay playas y parches de corales (<u>Gómez-Cubillos et al., 2015</u>).

Las principales fuentes de contaminación marina en Cauca 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 (Figura 4-14; INVEMAR, 2018).

Actualmente en el departamento del Cauca, la REDCAM tiene 18 estaciones de muestreo de calidad de aguas superficiales activas que están distribuidas en tres zonas (Figura 15-1), la zona López-Timbiquí que comprende la franja costera de los municipios López de Micay y Timbiquí, donde se ubican gran parte de comunidades afrocolombianas e indígenas, las cuales realizan actividades de pesca, extracción de crustáceos y moluscos (principalmente pianguas) y minería de oro y platino, principalmente en la cuenca alta del río Timbiquí; la zona Guapi que comprende el municipio de Guapi, donde se ubica el mayor número poblacional; y la zona Gorgona que es un área de conservación de flora y fauna, donde se desarrollan solamente actividades turísticas.

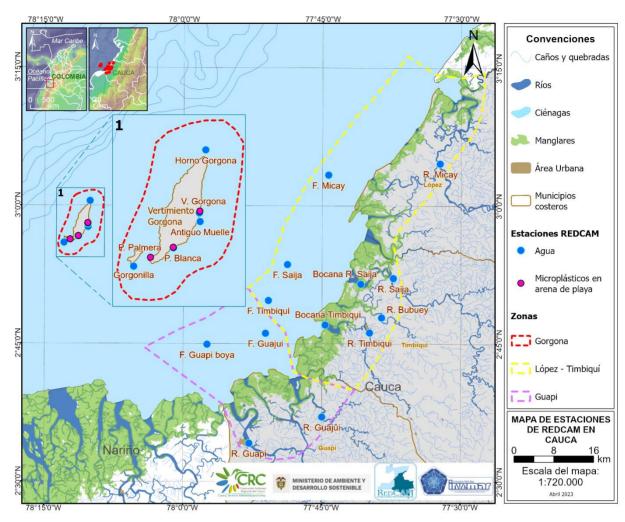


Figura 15-1. Mapa con las estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento de Cauca monitoreadas en agosto y noviembre y diciembre de 2021 y mayo de2022. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial. Los polígonos punteados enmarcan las zonas de muestreo.

#### 15.1 Calidad de aguas marinas y costeras

#### 15.1.1 Calidad de agua para la preservación y protección de flora y fauna

El comportamiento histórico de la salinidad del agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Cauca, se interpretó considerando la clasificación de las aguas por los valores de salinidad propuestos por Knox (2001) (Figura 15-2). De las 18 estaciones, el 55,5 % se clasificaron como aguas marinas, correspondientes a las ubicadas en isla Gorgona, Guapi y la zona de Lopéz-Timbiquí, puntualmente frente a los ríos Saija y Micay; el 11,1 % aguas estuarinas que corresponden a algunas bocanas, zonas frentes de ríos y ríos donde las condiciones de marea alta ingresan agua marina; y el 33,3 % a agua dulce. A partir de estos resultados, solo 12 estaciones monitoreadas durante las tres salidas de campo, cumplían con el criterio de salinidad, sin embargo, acorde a la disponibilidad de datos cuantificables para el reporte



ICAM<sub>PFF</sub>, solo se pudo calcular en 9 estaciones del primer muestreo realizado en agosto del 2021, 8 estaciones del segundo muestreo realizado entre noviembre y diciembre del 2021 y en 11 estaciones del tercer muestreo realizado en mayo del 2022.

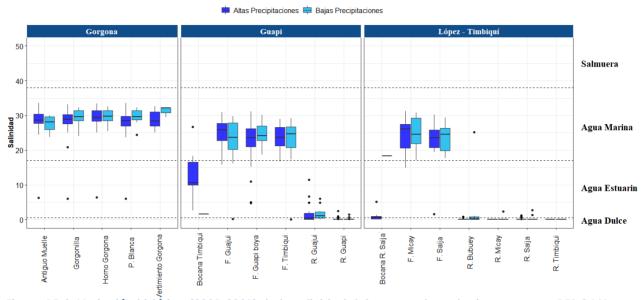


Figura 15-2. Variación histórica (2001-2021) de la salinidad del agua en las estaciones y zonas REDCAM en Cauca. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).

Los resultados del ICAM<sub>PFF</sub> durante los tres muestreos realizados entre el 2021 y 2022, evidenciaron que la calidad del agua varió entre óptima e inadecuada, con el 21,4% de las estaciones en condición óptima, 50,0% adecuada, 25% aceptable y el 3,6% inaceptable.

Durante el primer muestreo la condición óptima se presentó en las estaciones de la zona Gorgona; calidad entre aceptable y adecuada en las estaciones en la zona de Guapi (Bocana R. Saija y F. Saija). Presentándose un deterioro de la calidad del agua en la estación F. Micay con condición inadecuada, lo cual se debe a las altas concentraciones de clorofila a y ortofosfatos (Figura 15-3). Esto puede estar relacionado con posibles condiciones de eutrofización derivadas de procesos de acumulación de nutrientes debido al desarrollo de actividades antrópicas, como la agricultura. Durante el segundo muestreo las condiciones estuvieron entre adecuada y aceptable, con condiciones aceptables en las estaciones Bocana Timbiquí y Bocana R. Saija, por las altas concentraciones de clorofila a y nitratos.

Para el tercer muestreo la calidad del agua fluctúo entre óptima y aceptable, observándose una tendencia a la mejora en relación al primer y segundo muestreo (Figura 15-3). En la zona de Gorgona, las estaciones Gorgonilla, P. Blanca, Vertimiento y Horno Gorgona, presentaron condiciones óptimas. Así mismo, para las zonas Guapi y López-Timbiquí, se observan mejores condiciones de la calidad del agua en las

estaciones Bocana Timbiquí, F. Guajuí y F. Micay (Figura 15-3) en comparación con el primer y segundo muestreo. Estas mejoras en la calidad del agua pueden asociarse a los eventos de precipitación presentados durante los meses de los tres muestreos, donde el <u>IDEAM</u>, (2022c) reportó que en el departamento del Cauca las precipitaciones estuvieron por encima y muy por encima de lo normal en agosto, noviembre y diciembre de 2021, en contraste con mayo de 2022 que presentó condiciones normales en relación al índice de la precipitación mensual (<u>IDEAM</u>, 2021a).

En las estaciones Bocana R. Saija y Bocana R. Timbiquí las condiciones de calidad del agua del primer y segundo muestreo disminuyeron, pasando de adecuada a aceptable (Figura 15-3). Lo anterior, relacionado con los altos valores reportados de nutrientes y clorofila para el segundo muestreo (Figura 15-3) que pueden estar asociados a los procesos de escorrentía producto del incremento de las precipitaciones y a la dinámica de las mareas y los aportes fluviales (Shirodkar et al., 2011; INVEMAR, 2019a). En contraste, la estación F. Guapi Boya que pasó de condiciones de calidad aceptable a adecuada (Figura 15-3).

Las condiciones mareográficas entre las campañas de muestreo de 2021 para la estación Bocana R. Saija (IDEAM, 2021a), que pasó de calidad adecuada a aceptable, mostraron que durante los dos muestreos el agua se encontraba en reflujo, con la salida de agua dulce desde la zona continental y de las bocanas de los ríos. Sin embargo, durante la segunda salida, al momento de la recolección de la muestra, el periodo de reflujo llevaba un mayor tiempo transcurrido, por lo cual se había generado un recambio mayor en comparación al primer muestreo. Esto, indica que la calidad de las aguas marino costeras está influenciada por procesos mareales. En relación a los muestreos realizados durante las dos campañas del 2021 en la estación Bocana R. Timbiquí, la marea estaba pasando por el periodo de flujo, con un mayor tiempo transcurrido durante el segundo muestreo (IDEAM, 2021a).



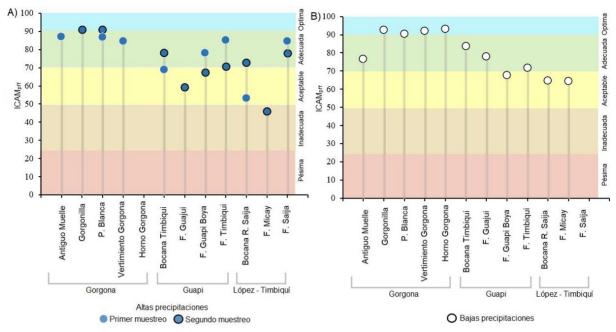


Figura 15-3. Calidad de las aguas marinas y estuarinas de las estaciones REDCAM de Cauca evaluada con el ICAM<sub>PFF</sub>, en los muestreos en A) altas precipitaciones en agosto (primer muestreo), noviembre y diciembre de 2021 (segundo muestreo) y B) bajas precipitaciones (mayo de 2022).

#### 15.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

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 <u>Unión</u> Europea (2006) (<100 UFC/100 mL de EFE).

Durante el primer muestreo (agosto de 2021), las estaciones F. Saija, R. Micay, R. Saija, R. Timbiquí, R. Bubuey y Bocana R. Saija, ubicadas en la zona de López-Timbiquí y las estaciones R. Guapi, R. Guajuí y Bocana Timbiquí de la zona de Guapi, y la estación P. Blanca ubicada en Isla Gorgona, presentaron concentraciones de CTE y CTT por encima del límite permisible para contacto primario establecidas por la legislación nacional (Minambiente, 2015). Mientras que en las estaciones F. Micay, F. Guapi Boya, F. Timbiquí, Vertimiento Gorgona, Antiguo Muelle, Gorgonilla y Horno Gorgona, las concentraciones de CTE y CTT estuvieron por debajo del límite permisible (Figura 15-4).

Por otra parte, las concentraciones de EFE se mantuvieron por debajo de los valores sugeridos por la Directiva 2006/7/EC del Parlamento Europeo (<u>Unión Europea, 2006</u>) en las estaciones monitoreadas en la zona de López-Timbiquí, Guapi y Gorgona, con valores máximo de 27 UFC/100 mL (log =1,4) (Figura 15-4). En el segundo muestreo, en la zona de López-Timbiquí, en las estaciones F. Saija, R. Micay, R. Saija, R. Timbiquí y R. Bubuey; y en la estación R. Guapi, ubicada en la zona de Guapi las concentraciones de CTE y CTT estuvieron por encima del límite permisible para contacto primario (Figura 15-4). Por otro lado, en la mayoría de las estaciones en el sector de Guapi, así

como todas las estaciones en la zona de Gorgona se registraron concentraciones por debajo del límite permisible para el uso recreativo del agua. Durante el tercer muestreo, en las estaciones F. Saija, R, Micay, R. Saija, R. Timbiquí, R. Bubuey, se registraron concentraciones menores de CTE con respecto al primer y segundo muestreo. Sin embargo, las estaciones en la zona López-Timbiquí (R. Micay, R. Saija, R. Timbiquí, R. Bubuey y Bocana R. Saija) las concentraciones de CTT y CTE estuvieron por encima del límite permisible para contacto primario, así como las estaciones R. Guapi y R. Guajuí (Figura 15-4). En las estaciones F. Guajuí, F, Guapi boya, F Timbiquí, F. Micay y F. Saija de las zonas Guapi y López-Timbiquí, las concentraciones de CTE y CTT estuvieron por debajo del límite permisible para el uso recreativo del agua (Minambiente, 2015).

Para los tres muestreos, las concentraciones de EFE estuvieron por debajo del límite permisible, con valores máximo de 27 UFC/100 mL (log =1,4), 13 UFC/100 mL (log =1,1) y 45 UFC/100 mL (log =1,6) para los meses de agosto y noviembre-diciembre del 2021, y mayo del 2022, respectivamente (Figura 15-4).



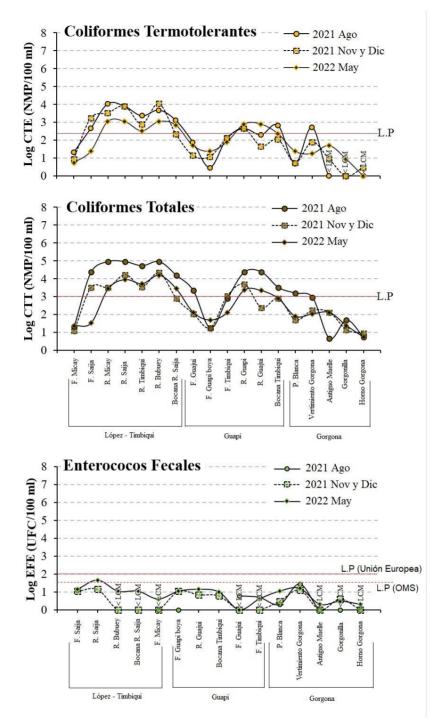


Figura 15-4. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) en estaciones REDCAM Cauca, en los tres muestreos de agosto 2021, noviembre-diciembre de 2021 y mayo 2022. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 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 y 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL) para EFE. Línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL). L.P: Límite Permisible.

Las condiciones históricas de calidad microbiológica en playas de uso turístico se evalúo en cuatro (4) estaciones del Parque Nacional Natural Isla Gorgona (Fiaura 15-5). Entre 2006 y 2016 las concentraciones de CTT y CTE no han superado los criterios de calidad nacionales y las concentraciones de EFE han estado por debajo de los valores sugeridos por la Directiva 2006/7/EC del Parlamento Europeo (Unión Europea, 2006), mostrando un nivel alto de cumplimiento; entre 2017 y 2019 se presentaron con mayor frecuencia niveles de cumplimiento medio y bajo (Figura 15-5). Para el periodo 2021 la mayoría de estaciones monitoreadas pasaron a niveles de cumplimiento altos. con registros de hasta 79 NMP/100 mL de CTE, 920 NMP/100 mL de CTT y 27 UFC/100 mL de EFE (Figura 15-5), sin embargo, estaciones como Vertimiento Gorgona y P. Blanca presentaron niveles de cumplimento medio para concentraciones de CTE y CTT, respectivamente; y para el 2022, las concentraciones de todas las estaciones monitoreadas estuvieron por debajo de los criterios nacionales para coliformes y valor de referencia para Enterococos, con valores máximos reportados de 16.000 NMP/100 mL de CTT, 1.100 NMP/100 mL para CTE y 45 UFC/ 100 mL para EFE (Figura 15-5), indicando un nivel de cumplimiento Alto para todas la estaciones monitoreadas.

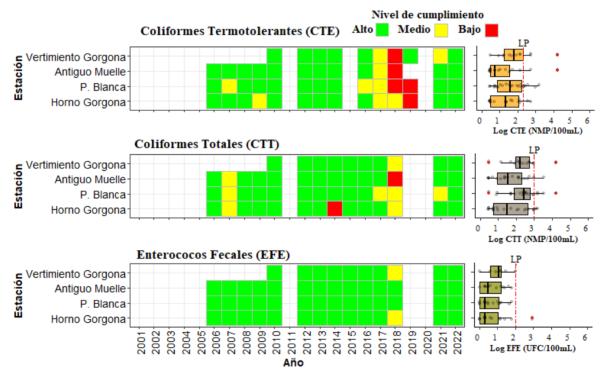


Figura 15-5. Registros históricos desde el año 2005 al 2022 del cumplimiento de indicadores microbiológicos de calidad del agua para el uso recreativo en playas de Cauca. Nivel de cumplimento: Alto, el 100% de las mediciones anuales cumplieron con el límite permisible; Medio, >=50 y < 100% de las mediciones anuales cumplieron con el límite permisible; Bajo, <50% de mediciones anuales cumplieron con el límite permisible.



#### 15.2 Contaminación por microplásticos en playas turísticas

La evaluación de microplásticos en la arena de las playas turísticas del departamento de Cauca, Palmera, Playa Blanca y Vertimiento Gorgona realizada en mayo del año 2022 (altas precipitaciones), mostró que la concentración de estos contaminantes osciló entre 1,6 y 13,6 ítems/m², presentando las mayores concentraciones en Palmera (Figura 15-6). En general, estas concentraciones son similares a las reportados en otras playas del Pacífico, como Playa Tribugá en el Chocó, Juanchaco y Punta Soldado en Buenaventura y Vaquería y Bocagrande en Tumaco, con concentraciones inferiores a 100 ítems/m² (Garcés-Ordóñez et al., (2020a). Una de las causas probables de esta contaminación es la deficiencia en la gestión de residuos, considerando que el departamento del Cauca presenta coberturas de alcantarillado por debajo del 65%, siendo uno de los más bajos en la región del Pacífico (Superservicios, 2020), por lo cual, los desechos llegan fácilmente a las playas a través de los ríos que desembocan en el océano Pacífico, donde se acumulan por acción de los vientos y son transportados por corrientes marinas. Cabe resaltar que estas playas se encuentran en la Isla Gorgona, la cual es un área protegida perteneciente a Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN), en donde se ha implementado la Resolución 1558 de 2019 que prohíbe el ingreso de plásticos de un solo uso, sin embargo, al ser una isla y por la dinámica marina por la acción de las mareas, sus playas son receptoras de residuos provenientes del continente.

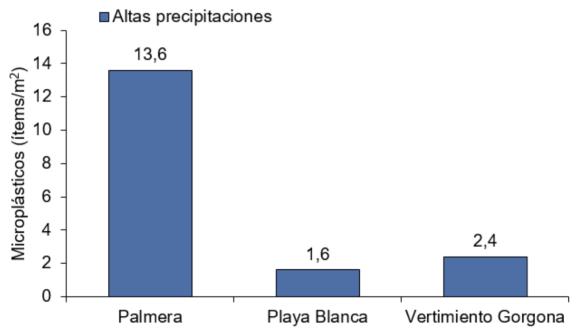


Figura 15-6. Concentración de microplásticos encontrados en las muestras de arena de playa de Cauca colectados en el muestreo realizado en mayo (altas precipitaciones) de 2022.

Las formas de microplásticos más abundantes fueron de origen secundario, conformados por filamentos y fragmentos (Figura 15-7). En general los microplásticos tipo filamentos fueron los más dominantes en las tres playas, lo cual ha sido reportado en otros estudios (<u>Su et al., 2019</u>; <u>Garcés-Ordóñez et al., 2021</u>). Este tipo de microplásticos está asociado principalmente a la descargas de aguas residuales domésticas, las cuales han sido reportadas como el mayor aportante de efluentes debido al lavado de ropa (<u>Dodson et al., 2020</u>; <u>Vásquez-Molano et al., 2021</u>).

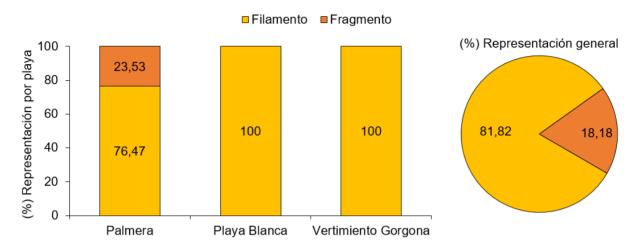


Figura 15-7. Porcentajes de representación de cada forma de microplásticos encontrados en las muestras de arena de las playas de Cauca colectados en el muestreo realizado en mayo (altas precipitaciones) de 2022.



#### 15.3 Conclusiones y recomendaciones

- En el periodo comprendido entre 2021 y 2022, predominaron condiciones adecuadas de calidad del agua en las estaciones de monitoreo del departamento del cauca, determinada mediante el análisis del ICAMPFFF, solamente en la estación frente río Micay, se presentó calidad inadecuada durante el primer muestreo del año 2021, producto del aumento de las precipitaciones que incrementaron las descargas de los ríos. Estos resultados muestran la necesidad de continuar con el monitoreo y evaluación del estado de la calidad del agua marina y costera, además de actualizar el inventario de fuentes de contaminación que puedan estar ejerciendo presión sobre las condiciones de calidad del agua con fines de preservación de la fauna y flora.
- En las zonas de López-Timbiquí y Guapi, las concentraciones altas de Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales, indican que la presencia de vertimientos de aguas residuales sin tratamiento en la zona costera de Cauca que están afectando las condiciones sanitarias de las fuentes hídricas. En las estaciones Vertimiento Gorgona y P. Blanca, la calidad microbiológica del agua, en términos de las concentraciones de Coliformes Totales y Termotolerantes, presentaron niveles de cumplimiento medio frente a los criterios nacionales de calidad para el uso recreativo de agua.
- En la arena de las playas muestreadas en el departamento del Cauca en el año 2022, se presentaron bajas concentraciones de microplásticos, principalmente filamentos que podrían proceder del lavado de ropas caseras, lo cual evidencia la incidencia de actividades antrópicas que se presentan en la zona costera. Es necesario identificar los tipos de polímeros para esclarecer el origen de las partículas y realizar estudios sobre la hidrología de la zona para comprender la dinámica de los microplásticos presentes en estas playas.





#### 16. DEPARTAMENTO DE NARIÑO

El departamento de Nariño se ubica en el Pacífico colombiano, y su zona costera está comprendida por los municipios de San Andrés de Tumaco, Francisco Pizarro, Mosquera, Olaya Herrera, La Tola, El Charco y Santa Bárbara (Figura 16-1). De acuerdo con las proyecciones poblacionales del DANE del año 2020, la población humana, en estos municipios, asciende a 352.254 habitantes (DANE, 2021). Las precipitaciones promedio oscilan entre 2.500 y 7.000 mm, y en la zona marino costera se encuentran los parches de ecosistemas de manglar más representativos del Pacífico; así como playas de arena, acantilados, playones intermareales y estuarios (Gómez-Cubillos et al., 2015).

Las principales fuentes de contaminación al mar en Nariño están relacionadas con terminales marítimos, gasolineras, puertos, aserraderos, vertimientos de aguas residuales domésticas e inadecuada disposición de residuos sólidos; siendo el sector del municipio de Tumaco el que presenta una mayor intervención antrópica (Figura 4-14).

En el departamento de Nariño, la REDCAM tiene 30 estaciones históricas de monitoreo, de las cuales en el año 2021 se muestrearon 18. Estas estaciones están distribuidas en tres zonas geográficas (Figura 16-1), la zona Costa Norte que se extiende desde la frontera con el departamento del Cauca hasta la punta Cascajal, abarcando parte de las cuencas hidrográficas de los ríos Patía y Sanquianga, y el Parque Nacional Natural Sanquianga (Figura 16-1), sitio estratégico para la conservación de la fauna y flora marino costera; la zona Ensenada de Tumaco que abarca el municipio de Tumaco, donde está la mayor población y se desarrollan actividades agropecuarias, mineras, pesqueras, portuarias, de comercio y de turismo y en donde desembocan los ríos Rosario, Mejicano, Guayaros, Changüí y Curay (Figura 16-1); y la zona Costa Sur que comprende el área desde el sur de la Ensenada de Tumaco hasta el río Mataje, en el límite fronterizo con Ecuador, donde se desarrollan actividades agropecuarias y donde se han presentado afectaciones relacionadas con derrames de petróleo (Figura 16-1; INVEMAR, 2018).

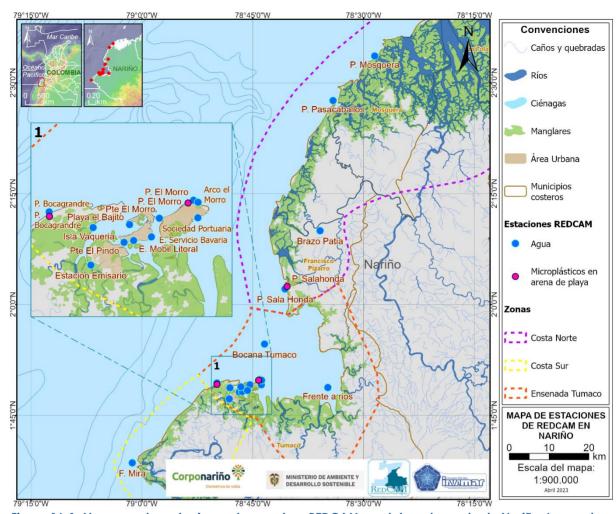


Figura 16-1. Mapa con las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Nariño. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial y los puntos rosados corresponden a estaciones donde se muestrea microplásticos en arena de playa. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

#### 16.1 Calidad de aguas marinas y costeras

# 16.1.1 Calidad de agua para la preservación y protección de flora y fauna Los análisis históricos (2001 a 2021) de salinidad para las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, 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 analizadas, 61 % se calificaron como agua marina (17), 29 % como agua estuarina (8) y 11 % como agua dulce (3) (Figura 16-2).

Para el análisis de la salinidad entre épocas climáticas, se tuvo en cuenta la variación de las lluvias de la región del Pacífico colombiano y la ausencia de una temporada seca definida, por lo que fueron reconocidos dos periodos, designados como periodos de bajas y altas precipitaciones. Se observa que, en 15 estaciones, Harinera-Chanzara, P. Mosquera, Arco el Morro, Bocana Tumaco, E. Servicio Bavaria, Isla



Vaquería, P. Bocagrande, P. el Morro, Playa el Bajito, R. Rosario, Sociedad Portuaria, F. Mataje, F. Mira, R. Mataje y R. Mira, la salinidad histórica promedio es más baja durante la temporada de altas precipitaciones (Figura 16-2), lo cual se puede relacionar con el aporte de agua dulce al sistema producto de las lluvias, el aumento de los caudales de los ríos y el agua de escorrentía. Este fenómeno se ve más marcado en las estaciones Isla Vaquería y F. Mira, donde, en épocas de altas precipitaciones el agua se clasifica como estuarina, mientras que, en épocas de bajas precipitaciones se clasifica como marina (Figura 16-2).

En la representación boxplot, se logra observar un amplio rango de salinidad, principalmente en las estaciones Brazo Patía, F. Iscuandé, Harinera-Chanzara, P. Sala Honda, Isla Vaquería, R. Chagui, R. Mejicano, R. Rosario y F. Mira (Figura 16-2), variación que pueden estar influenciada por los cambios en las condiciones mareales características de la zona (Martínez et al., 2014).

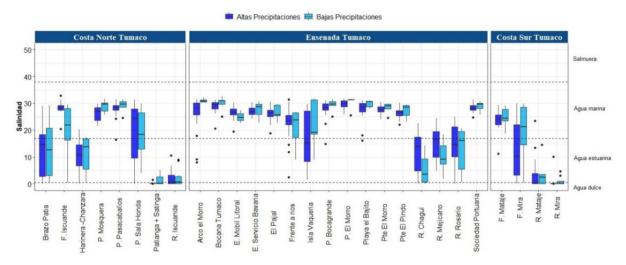


Figura 16-2. Boxplot de la variación histórica (2001 hasta 2021) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Nariño, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los 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 análisis de calidad de aguas en 13 estaciones de muestreo en el departamento de Nariño para el año 2021, se evaluó mediante el ICAMPFF. Los resultados muestran que en el 46,2 % de los registros la calidad fue adecuada, en el 38,5 % aceptable y en el 15, 4% inadecuada; este último relacionado con las estaciones P. Bocagrande (37,15) y P. El Pindo (48,35) (Figura 16-3), en las cuales las concentraciones de coliformes termotolerantes estaban en categoría pésima al momento de calcular el ICAMPFF. Estos valores, pueden estar relacionado con los vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento previo que llegan de manera directa y a través de escorrentía a las aguas costeras, producto de las actividades urbanas desarrolladas en el casco urbano del municipio de Tumaco y de las actividades turísticas identificadas en el sector de P. Bocagrande que cuentan con cobertura de alcantarillado deficiente o inexistente (INVEMAR, 2019).

Históricamente, en la estación P. El Pindo el ICAMPFF ha mostrado condiciones de calidad del agua aceptables, con reportes inadecuados a partir del año 2016; en la estación P. Bocagrande a partir del año 2015, se han registrado condiciones de calidad de sus aguas inadecuadas y aceptables (INVEMAR, 2022), lo cual indica que es necesario tomar acciones frente a las fuentes de contaminación en estas zonas, las cuales están generando un deterioro de la calidad de las aguas marino-costeras.

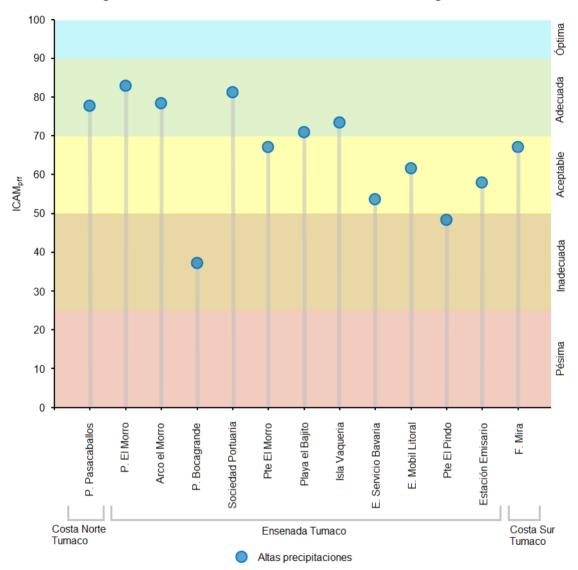


Figura 16-3. Calidad de agua superficial ICAM<sub>PFF</sub> para el año 2021, en las estaciones marinas y costeras del departamento de Nariño.



El Carbono Orgánico Total (COT) se analizó en las estaciones ubicadas en las zonas de Costa Norte Tumaco, Ensenada Tumaco y Costa Sur Tumaco. Las concentraciones estuvieron entre 1,24 y 4,59 mg COT/L (Figura 16-4). La mayor concentración de COT se registró en el sector Costa Norte Tumaco, en la estación Brazo Patía (4,59 mg COT/L) que tiene características estuarinas; seguido de las estaciones Pte. El Pindo (2,87 mg/L), Frente a ríos (2,68 mg COT/L) y E. Mobil Litoral (2,67 mg COT/L) ubicadas en el sector Ensenada Tumaco, que tiene características marinas.

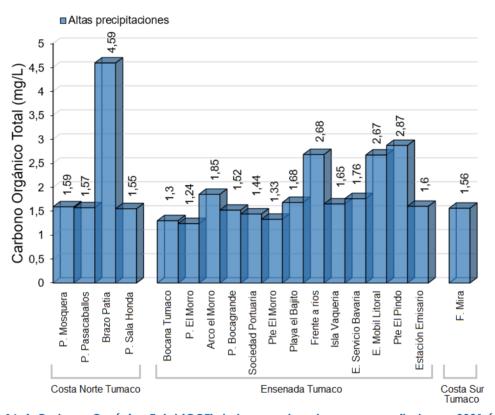


Figura 16-4. Carbono Orgánico Total (COT) de las muestras de agua recopiladas en 2021 época de altas precipitaciones en el departamento de Nariño.

#### 16.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

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 2021, en las estaciones de muestreo ubicadas en el departamento de Nariño, se registraron concentraciones de CTE entre 23 y 16.000.000 NMP/100 mL. En el 72 % de las estaciones de muestreo (Brazo Patía, P. Pasacaballos, P. Sala Honda, F. Mira, E. Mobil Litoral, E. Servicio Bavaria, Estación Emisario, Frente a ríos, Isla Vaquería, P. Bocagrande, Playa el Bajito, Pte El Morro, Pte El Pindo) las

concentraciones de CTE estuvieron por encima del límite permisible para contacto primario (200 NMP/100 mL o 2,3 log NMP/100 mL); siendo la estación Pte El Pindo en la que se registró la mayor concentración (16.000.000 NMP/100 mL) (Figura 16-5). A pesar de que las CTE son microorganismos distribuidos ampliamente en el ambiente, concentraciones altas de este tipo de microorganismos pueden ser indicadores de introducción de aguas residuales domésticas provenientes del casco urbano del municipio de Tumaco.

Por otra parte, se registraron concentraciones de CTT entre 79 y 35.0000 NMP/100 mL. En el 44 % de las estaciones de muestreo (Brazo Patía, F. Mira, E. Mobil Litoral, E. Servicio Bavaria, Isla Vaquería, P. Bocagrande, P. El Bajito, Pte El Morro), se registraron valores por encima de los niveles máximos permisibles (1.000 NMP/100 mL o 3 log NMP/100 mL), con excepción de las estaciones Pte El Pindo y Estación Emisario, en las cuales se registraron valores por debajo del límite de cuantificación del método (<LCM) usado en el LABCAM de INVEMAR (Figura 16-5).

En las estaciones donde se muestrearon EFE se observaron concentraciones que oscilaron entre 1 y 90 UFC/100 mL; siendo la estación Isla Vaquería en la que se reportaron las concentraciones más altas, sin embargo, estas sobrepasan los límites permisibles para uso recreativo de contacto propuestos por la <u>Unión Europea (2006)</u>. De acuerdo con la <u>OMS (2003)</u>, valores de EFE entre 41-200 UFC/100 mL, indican un riesgo entre 1-5 % de contraer enfermedades gastrointestinales – EGI y 0,3 – 1,9 % de contraer enfermedad respiratoria febril aguda – ERFA, por lo tanto es importante seguir haciendo seguimiento al agua de la estación Isla Vaquería, donde hay registros por encima de este valor (Figura 16-5).



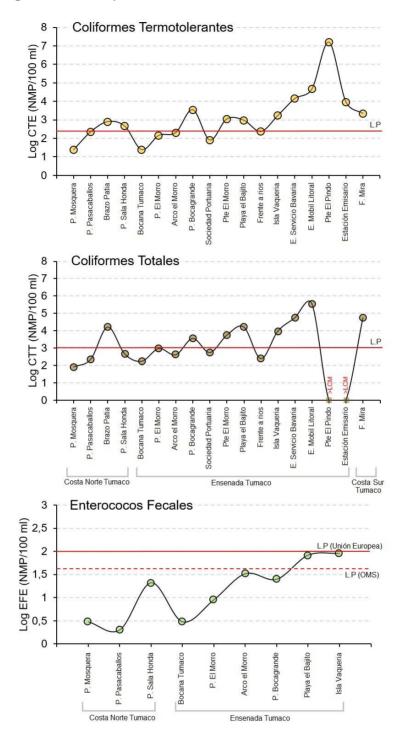


Figura 16-5. Logaritmo de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) en las estaciones REDCAM Nariño, muestreo 2021. Línea roja: valor de referencia del límite permisible corresponde a 200 NMP/100 mL o 2,3 log (NMP/100 mL) para CTE, 1.000 NMP/100 mL o 3 log (NMP/100 mL) para CTT y 100 UFC/100 mL o 2 log (UFC/100 mL). Línea roja punteada: valor de referencia del límite permisible corresponde a 40 UFC/100 mL o 1,6 log (UFC/100 mL). L.P: Limite Permisible.

Históricamente, en las estaciones Playa el Bajito, Arco el Morro y P. Sala Honda, la calidad microbiológica de las aguas ha presentado niveles de cumplimiento medio y bajo para CTT y CTE. Las concentraciones de CTE, han superado los límites máximos permisibles para uso recreativo de contacto primario (> 200 NMP/100 mL); así como las concentraciones de CTE que han superado los niveles máximos permisibles para fines recreativos mediante contacto primario (> 1.000 NMP/100 mL), siendo la estación Arco el Morro la que mayores concentraciones de CTE ha presentado con 7.900 NMP/100 mL (junio 2010), 92.000 NMP/10mL (junio 2012), 110.000 NMP/100 mL (junio 2013), 22.000 NMP/100 mL (abril 2014), 920.000 NMP/100 mL (diciembre 2016), 54.000 NMP/100 mL (mayo 2017) y 3.300 NMP/100 mL (mayo 2019) (INVEMAR, 2022). En el año 2021, las estaciones Arco el Morro y P. Sala Honda pasaron de un nivel de cumplimiento bajo reportado en el año 2020 a un nivel de cumplimiento alto para CTT (Figura 16-6).

En relación con las mediciones de EFE, históricamente las concentraciones de estos microorganismos están en niveles que cumplen con las normas internacionales (<u>Unión Europea 2006</u>); con excepción de la estación Arco el Morro donde se han registrados las concentraciones más elevados de EFE, alcanzando un valor de 590 UFC/100 mL en mayo 2017 (Figura 16-6), por lo cual, de acuerdo con la clasificación de las aguas de baño de la <u>Unión Europea (2006)</u>, se clasifica como aguas de calidad insuficiente. De acuerdo con la <u>OMS (2003)</u>, al registrar concentraciones > 500 UFC/100 mL hay probabilidad mayor al 10 % de que los usuarios de las playas contraigan enfermedades gastrointestinales (EGI) y, mayor al 3,9% de contraer enfermedades respiratorias febriles agudas (ERFA).

Estos cambios de calidad microbiológica han estado relacionados con factores climáticos marcados por épocas de altas y bajas precipitaciones y presencia de fuentes terrestre de contaminación marina relacionadas con el desarrollo actividades antropogénicos tales como turismo y vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento.



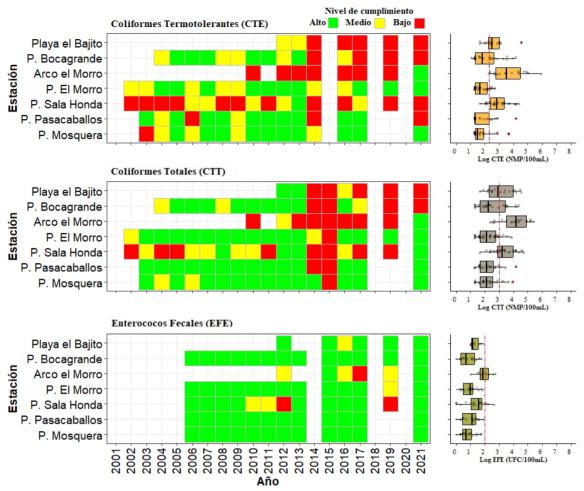


Figura 16-6. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Nariño. La escala de valoración del nivel de cumplimento corresponde a: Alto, 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.

#### 16.2 Conclusiones y recomendaciones

- El análisis ICAM<sub>PFF</sub> 2021 indicó que la calidad del agua de las estaciones Pte. El Pindo y P. Bocagrande presenta condiciones inadecuadas para la preservación de fauna y flora, las cuales están asociadas a las altas concentraciones de Coliformes Termotolerantes reportadas durante el muestreo, debido a los vertimientos de aguas residuales domésticas que son descargadas en la zona marino costera y en cuerpos hídricos que desembocan en la Ensenada de Tumaco. Es necesario mejorar la cobertura de alcantarillado y establecer control y vigilancia a establecimientos comerciales para mitigar el deterioro de la calidad del agua relacionado con las descargas de aguas residuales.
- Históricamente, las playas turísticas de El Bajito, P. Bocagrande, Arco El Morro y P. Sala Honda han tenido condiciones sanitarias predominantemente bajos, debido a que las concentraciones de CTT y CTE han sido considerablemente superiores a los límites máximos permisibles para uso recreativo de contacto primario. Al ser estas playas de los principales atractivos turísticos en el municipio de Tumaco, se presenta el riesgo actual de sus usos para contacto primario y explotación comercial. Se recomienda mejorar las condiciones de la cobertura de alcantarillado, establecer control y vigilancia a establecimientos comerciales para mitigar el deterioro de la calidad del agua relacionado con las descargas de aguas residuales y realizar un estudio puntual para cuantificar las afectaciones asociadas a las fuentes terrestres de contaminación en estas playas.



#### **BIBLIOGRAFÍA**

- Acosta-Coley, I., Duran-Izquierdo, M., Rodriguez-Cavallo, E., Mercado-Camargo, J., Mendez-Cuadro, D., & Olivero-Verbel, J. 2019. Quantification of microplastics along the Caribbean Coastline of Colombia: Pollution profile and biological effects on Caenorhabditis elegans. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 574-583. 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.
- Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia APC Colombia., 2015. Manual de Gestión de los Residuos Sólidos o Desechos Peligrosos. Código: A-OT-013., Versión 3. 22 de diciembre de 2015. Bogotá D.C. 28 pp.
- Alonso, D., P. Pineda, J. Olivero, H. González y N. Campos. 2000. Mercury levels in muscle of two fish species and sediments from the Cartagena Bay and the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Environmental Pollution*, 109,157-163.
- 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.
- ANLA. 2020. Reporte de Análisis Regional del Pacífico Norte: Golfo de Tribugá y Golfo de Cupica (PN-GTGC). Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, Colombia. 123 P.
- ANZECC y ARMCANZ. 2000. Mercury in freshwater and marine water. <a href="https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline">https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline</a> <a href="mailto:values/default/water-quality-toxicants/toxicants/mercury-2000">values/default/water-quality-toxicants/toxicants/mercury-2000</a> (consultado 202/12/2021).
- APHA., AWWA y WEF. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. United States of America. 1325 p.
- 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 edición. Washington. 1368 p.
- Arias, T. L., Peralta, V. F., Diana, D. M. F. D., Delgado, E. G., Márquez, F. S. A., Martínez, M. D. B., & Bareiro, C. G. M. 2016. Índices de calidad ambiental de aguas del Arroyo Caañabe mediante tests microbiológicos y ecotoxicológico. Revista Ambiente & Água, 11, 548-565.

- Arias-Almeida, J.C., & Ramírez-Restrepo, J.J. 2009. Caracterización preliminar de los sedimentos de un embalse tropical: represa La Fe (El Retiro, Antioquia, Colombia). Limnetica, 28(1), 65–78. https://doi.org/10.23818/limn.28.05
- Arteaga, G., Marrugo. J., Sánchez, J., 2017. Plaguicidas en canales de riego del distrito de La Doctrina (Córdoba-Colombia). *Temas Agrarios*, 23(1), 20-36. https://doi.org/10.21897/rta.v23i1.1143
- Atesa, 2022. Programa para la prestación de servicio público de aseo. Santa Marta. Última actualización: agosto de 2022. Versión 1.
- ATSDR. 2005. Resumen de salud públic Níquel. In A. d. s. t. y. e. r. d. enfermedades (Ed.), (pp. 1 8).
- Auta, H.S., Emenike, C.U., Fauziah, S.H. 2017. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 165–176. https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013
- Avila, J. P. y A. Sansores. 2003. Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería*, 7(2), 47-54.
- 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.
- Barone, G., Dambrosio, A., Storelli, A., Garofalo, R., Busco, V. P., & Storelli, M. M. 2018. Estimated dietary intake of trace metals from swordfish consumption: a human health problem. Toxics, 6(2), 22.
- Bianchi, T.S. & Bauer, J.E. 2011. Particulate organic carbon cycling and transformation. 69-117. En: Wolanski, E. y D. McLusky (Eds.). Treatise on estuarine and coastal science. Academic Press, Waltham, EE.UU. 245 p. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374711-2.00503-9
- Blanco-Muñoz, E., De la Parra-Guerra, A., García-Alzate, C. y Villarreal-Blanco, E. 2020 Análisis físico-químico y fitoplanctónico de la ciénaga Puerto Caimán, vertiente Caribe, Colombia. *Intropica*, 15(2): en prensa. Doi: https://doi.org/10.21676/23897864.3650
- Blott S. J. y K, Pye. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth surface processes and Landforms*, 26(11), 1237-1248.
- Botero, C., Hurtado, Y., Porto, J., Manjarrés, M. & Díaz, L. (2008). Metodología de cálculo de la capacidad de carga turística como herramienta para la gestión ambiental y su aplicación en cinco playas del Caribe norte colombiano. Gestión y Ambiente, Vol. 11, No. 3, p.p 9-22.
- Bouwman, A. F., Bierkens, M. F. P., Griffioen, J., Hefting, M. M., Middelburg, J. J., Middelkoop, H., & Slomp, C. P. 2013. Nutrient dynamics, transfer and retention along the aquatic continuum from land to ocean: towards integration of ecological and biogeochemical models. *Biogeosciences*, 10(1), 1-22.



- Buchman M. 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.
- 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.
- Carro, B., J. Borrego, N. López-González y O. Lozano-Soria. 2006. Procesos de mezcla de un estuario afectado por drenaje de aguas ácidas (Ría de Huelva, España). Geogaceta, 39, 115-118.
- Casanova-Rosero, R.F., N. P, Suárez-Vargas y M.M. Zambrano-Ortiz. 2015. Valoración de algunas variables fisicoquímicas indicadoras de la calidad del agua en las principales bahías de la costa Pacífica colombiana—2009. Boletín científico CIOH 2015; 33:195-214.
- 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
- Castaño, C. 2002. Golfos y Bahías de Colombia, Serie especial de colección ecológica. Bogotá, D. C.: Banco de Occidente.CONAGUA Comisión Nacional del Agua. 2015. Monitoreo calidad del agua: escalas de clasificación de la calidad del agua superficial. Disponible desde internet: http://files.conagua.gob.mx/transparencia/CalidaddelAgua.pdf (con acceso el 16/12/2016).
- Castaño-Isaza, J., R. Newball, B. Roach y W. Lau. 2015. Valuing beaches to develop payment for ecosystem services schemes in Colombia's Seaflower marine protected area. *Ecosystem Services*. Vol. 11, 22-31 p. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.10.003.
- CCCAUCA -Cámara de Comercio del Cauca. 2017. Análisis del ambiente de inversión y de oportunidades de negocio en el departamento del Cauca. Recuperado el 15-12-2021 de: https://www.cccauca.org.co/sites/default/files/archivos/sector\_agricola\_imprimir\_0.pdf

- Chasqui, L., R. Nieto, A. Rodríguez-Rincón y D. L. Gil-Agudelo. 2013. Ambientes marinos de la plataforma somera de La Guajira, Caribe colombiano. Boletín de investigaciones marinas y costeras. 42 (2). Santa Marta, Colombia, 2013. ISSN 0122-9761. 401-412.
- 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.ta b=0.
- Cogollo, A. 2019. Articulación del plan de manejo ambiental del dmi bahía de Cispatá con los instrumentos de planificación territorial. Diplomado en metodologías aplicadas al ordenamiento territorial, Facultad de Ciencias Básicas. Universidad de Córdoba.
- Cogua, P., Campos-Campos, N. H., & Duque, G. 2012. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO TOTAL Y METILMERCURIO EN SEDIMENTO Y SESTON DE LA BAHÍA DE CARTAGENA, CARIBE COLOMBIANO. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR, 41(2), 267-285.
- CONAGUA Comisión Nacional del Agua. 2015. Monitoreo calidad del agua: escalas de clasificación de la calidad del agua superficial. Disponible desde internet: http://files.conagua.gob.mx/transparencia/CalidaddelAgua.pdf (con acceso el 17/04/2023).
- CONAMA Consejo Nacional de Medio Ambiente. 2005. Resolución No. 357 de 2005. Dispone sobre la clasificación de los cuerpos de agua y los parámetros de lanzamiento de efluentes. Brasil. 58-63.
- 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 de Gestión de Riesgos CMGRD. 2017. Estrategia municipal de respuesta a emergencias-EMRE municipio de Arboletes, Antioquia.
- 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.
- CORPOURABA. 2018. DIAGNÓSTICO SANITARIO Y DE CALIDAD DEL RÍO VOLCÁN, MUNICIPIO DE ARBOLETES (ANTIOQUIA).
- Corson-Dosch, H., Nell, C., Volentine, R., Archer, A.A., Bechtel, E., Bruce, J.L., Felts, N., Gross, T. A., Lopez-Trujillo, D., Riggs, C. E., Read, E. K. 2022. The Water Cycle. Water Science Schoo. Science for a changing world-USGS.
- CVC INVEMAR. 2015. Proyecto Determinación de Objetivos de Calidad por Usos del Recurso Hídrico en la bahía de Buenaventura Sector Cascajal, a través de la Modelación de Coliformes y DBO para Definir Diferentes Escenarios de Calidad



- de Agua. Informe de Modelación Hidrodinámica y de Calidad de Agua de la bahía de Buenaventura, Santa Marta, Colombia. 112 p.
- DANE. 2017. Proyección nacional y departamental de la población para los años desde 2005 al 2020. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Disponible en: https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-portema/demografia-y-poblacion (con acceso el 01/02/2018).
- 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
- DANE. 2021. Proyecciones y retroproyecciones de población municipal para el periodo 1985-2017 y 2018-2035 con base en el CNPV 2018. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion
- Daniel, D., Thomas, S., Thomson, K.T. 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.
- Dewis, J. & Freitas, F. 1984. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín Suelos FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 10: 71 p.
- DNP. 2020. Colombia potencia bioceánica sostenible 2020. Consejo nacional de política Económica y Social CONPES 3990. Documento CONPES 3930. 91p. Bogotá. D.C.
- Dodson, G., A. Shotorban, P. Hatcher, D. Waggoner, S. Ghosal and N. Noffke. (2020). Microplastic fragment and fiber contamination of beach sediments from selected sites in Virginia and North Carolina, USA. Marine Pollution Bulletin, 151: 110869. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110869
- Doria, C. 2019. 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. https://doi.org/10.29097/2011-639X.226
- 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).
- Elmir, S., M. Wright, A. Abdelzaher, H. Solo-Gabriele, L. Fleming, G. Miller, M. Rybolowik, M. Peter, S. Pillai, J. Cooper y E. Quaye. 2007. Quantitative evaluation of bacteria released by bathers in a marine water. *Water Research*, 41, 3 10
- Emara, H. I. 1998. Total organic carbon content in the waters of the Arabian Gulf. *Environment international*, 24(1-2), 97-103.

- EPA. 1996. The SW-846 Compendium: Method 3540C-Soxhlet Extraction. Environmental Protection Agency of US.
- EPA. 2007. Method 7473: Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry. Test methods for evaluating, solid waste physical/chemical methods, SW 846. Environmental Protection Agency, office of solid waste and emergency response, Washington, DC, U.S. 17 p.
- EPA. 2014. The SW-846 Compendium: Method 8270D-Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS). Environmental Protection Agency of US.
- Escobar, C. 2011. Relevancia de procesos costeros en la hidrodinámica del Golfo de Urabá (Caribe Colombiano).
- Euscátegui, C. y G. Hurtado. 2011. Análisis del impacto del fenómeno La Niña 2010-2011 en la hidroclimatología del país. IDEAM. Último acceso, 6.
- Feria, J., González, H., Marrugo, J. 2010. Heavy metals in Sinú river, department of Córdoba, Colombia. Revista Facultad de Ingenieria-Universidad de Antioquia, 55, 35-44.
- Fermín, I. 2002. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales de la Laguna de Unare. Trabajo de postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Fernández, A. C. 2012. El agua: un recurso esencial. Quimica viva, 11(3), 147-170.
- Flores, J. B. I. y L. S. Q. Fernández. 2021. Calidad del agua de la cuenca media del río Portoviejo. Estrategias para mitigar la contaminación. *Polo del Conocimiento:* Revista científico-profesional, 6(6), 1172-1195.
- Folk R. Y W Ward. 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-27
- Franco, M. & Scaldaferro, K. 2017. Determinación de plaguicidas y metales pesados en sedimentos superficiales del embalse el Guájaro como consecuencia de la actividad agrícola en el distrito de riego Repelón, Atlántico. Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería. Corporación Universidad de la Costa, CUC.
- Fundación Natura e INVEMAR. 2019. Servicios ecosistémicos marinos y costeros de Colombia. Énfasis en manglares y pastos marinos. Santa Marta. 34p.
- Galgani F., Hanke G., Maes T., 2015. Distribución global, composición y abundancia de basura marina. En: Bergmann M., Gutow L., Klages M. (eds) Basura antropogénica marina. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\_2.
- 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., L. J. Vivas-Aguas, M. Martínez, T. Córdoba, A. Contreras, P. Obando y D. Sánchez. 2016. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar No. 4 (2016). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe técnico 2015. INVEMAR, MADS y CAR costeras. Santa Marta. 377 p.
- Garcés-Ordóñez O., M. Bayona-Arenas, V. Castillo, R. Rueda-Bernal, A. Granados y B. Durán. 2018. Evaluación de impactos de microplásticos sobre el ecosistema de manglar en la ciénaga grande de santa marta. 197-226 p. En: INVEMAR-MINAMBIENTE. 2018. Informe técnico final. Convenio Interadministrativo 659 de 2017. Código PRY-BEM-016-17. Santa Marta, Colombia. 374 p.
- Garcés-Ordóñez O., Castillo-Olaya V.A., Granados-Briceño A.F., Blandón-García L.M., Espinosa-Díaz L.F., 2019. Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean, Marine Pollution Bulletin, 145, 455-462. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.058
- Garcés-Ordóñez O., Espinosa L., Pereira R., Issa B., Meigikos R., 2020a. 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, Pereira R., Muniz M., 2020b. Impact of tourism activity on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean.

  Marine Pollution Bulletin, 160, 111558. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111558
- Garcés-Ordóñez, O., Espinosa, L. F., Costa Muniz, M., Salles Pereira, L. B. & Meigikos dos Anjos, R. 2021a. Abundance, distribution, and characteristics of microplastics in coastal surface waters of the Colombian Caribbean and Pollution Research, 28(32), Pacific. Environmental Science and 43431-43442. https://doi.org/10.1007/s11356-021-13723-x
- 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.
- GGWeather. 2018. El Niño and La Niña Years and Intensities. Golden Gate Weather Services. https://ggweather.com/enso/oni.htm
- Gobernación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. (s. f.). https://www.sanandres.gov.co/index.php?option=com\_content (con acceso el 03/01/2022).
- Gobernación del Chocó. 2020. Plan de desarrollo departamental del Chocó 2020-2023. 513P.
- 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.
- Guillen Montero, J. E. y L. D. Páliz Urbina. 2021. Evaluación y propuesta de mejoramiento del sistema de Tratamiento de aguas Residuales mediante lagunas de oxidación del cantón Echeandía, ubicado en la provincia Bolívar (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil-Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas-Carrera Ingeniería Civil).
- Gutiérrez-Mosquera, H., V. C. Shruti, M. P. Jonathan, P. D. Roy y D. M. Rivera-Rivera. 2018. Metal concentrations in the beach sediments of Bahia Solano and Nuquí along the Pacific coast of Chocó, Colombia: A baseline study. *Marine pollution Bulletin*, 135, 1-8.
- Guven, D. E., Akinci, G. (2013). Effect of sediment size on bioleaching of heavy metals from contaminated sediments of Izmir Inner Bay. Journal of Environmental Sciences, 25(9), 1784–1794. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60198-3
- Hidalgo-Ruz, V. y Thiel, M. 2013. Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. Marine Environmental Research, 87-88, 1-7.
- Hidalgo-Ruz, V., D. Honorato-Zimmer, M. Gatta, P. Nuñez, I. Hinojosa y M. Thiel. 2018. Spatio-temporal variation of anthropogenic marine debris on Chilean beaches. Marine Pollution Bulletin, 126, 516-524. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.014.
- Holmes, P., James, K. A., & Levy, L. 2009. Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health? Science of The Total Environment, 408(2), 171-182. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.09.043
- Hurtado-García, Y., Botero-Saltarén, C. y Herrera-Zambrano, E. 2009. Selección y propuesta de parámetros para la determinación de la calidad ambiental en playas turísticas del Caribe colombiano. Ciencia en su PC, Vol. 4, No 1, pp. 42-53
- IDEAM, 2009. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno del Niño. Boletin No. 14. Bogotá D.C.
- IDEAM. 2010. Boletín Climatológico Mensual. Abril de 2010. Bogotá D.C. 18pp.
- IDEAM. 2013a. Boletín Climatológico Mensual. Diciembre de 2013. Bogotá D.C. 23pp.
- IDEAM. 2013b. Boletín Climatológico Mensual. Marzo de 2013. Bogotá D.C. 23pp.
- IDEAM, 2014. Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña", Boletín número 67. Bogotá D.C.
- IDEAM. 2016a. Anuario Climatológico año 2015. Bogotá. 365 p.
- IDEAM. 2016b. Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña", Boletín número 93 Bogotá D.C.
- IDEAM. 2016c. El niño continúa en su fase de mayor intensidad. Retrieved December 15, 2015, from http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-



/asset\_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/el-nino-continua-en-su-fase-de-mayor-intensidad

- IDEAM. 2017. Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climáticao "El Niño" y "La Niña". Boletín Número 113. Bogotá D.C. 7p.
- IDEAM. 2019a. Boletín Climatológico Mensual. Octubre de 2019. Bogotá D.C. 9pp
- IDEAM. 2019b. Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Ideam: 452 pp
- IDEAM. 2019c. Servicio merográfico, pronóstico de pleamares y bajamares en la costa Pacífica colombiana. Bogotá D.C. 136p.
- IDEAM. 2020a. Seguimiento al ciclo ENOS. Boletín No. 148. 13p. Disponible en http://www.ideam.gov.co/documents/21021/96422103/11\_ENSO\_IFN\_NOV\_20 \_2020.pdf/0031a6c5-987e-48a9-8465-fc5195024e08?version=1.0
- IDEAM. 2020b. Boletín Climatológico Mensual. Agosto de 2020. Bogotá D.C. 8pp
- IDEAM. 2020c. Boletín Climatológico Mensual. Septiembre de 2020. Bogotá D.C. 8pp
- IDEAM, 2021a. Boletín Climatológico Mensual. Boletin No. 08. Agosto de 2021. Bogotá D.C:
- IDEAM. 2021c. Plataforma del Atlas climatológico de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá. http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html
- IDEAM. 2021d. Seguimiento al ciclo ENOS. Boletín No. 150-162. Disponible en http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/boletin-de-seguimiento-fenomeno-el-nino-y-la-nina/IDEAM, 2021b. Cartilla de pleamares y bajamares costa pacífica colombiana. Servicio mareográfico.
- IDEAM. 2022a. Boletín Climatológico Mensual. Febrero de 2022. Bogotá D.C. 8pp
- IDEAM. 2022b. Boletín Climatológico Mensual. Marzo de 2022. Bogotá D.C. 8pp
- IDEAM. 2022c. Boletín Climatológico Mensual. Mayo de 2022. Bogotá D.C. 8pp
- IDEAM. 2022d. Boletín Climatológico Mensual. Septiembre de 2022. Bogotá. 8 pp.
- IDEAM. 2022e. SEGUIMIENTO AL CICLO ENOS El Niño Oscilación del Sur. Boletín de Seguimiento climatológico noviembre 2022. 12 P.
- IDEAM., IGAC, IAvH, Invemar, Sinchi e IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Bogotá, D. C, 276 p. + 36 hojas cartográficas.
- IDEAM, U. D. C. A. 2015. Síntesis del estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia. 2015. IDEAM MADS. Bogotá D.C. ISBN: 978-958-8067-79-7. 62 p.
- IGAC. 1990. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. IGAC. Bogotá. 499 p.
- IIAP. 2013. Plan Estrategico de la Macrocuenca del Pacífico. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico. Chocó, colombia. 363 P.
- INVEMAR. 2007. Ordenamiento ambiental de la zona costera del departamento del Atlántico. Informe Final. Santa Marta. 588 p.

- INVEMAR. 2009. Troncoso, W., L. Vivas, J. Sánchez, S. Narvaez, L. Echeverrry y J. Parra. 2009. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia-REDCAM. Informe técnico 2009. INVEMAR. Santa Marta, 185 p.
- 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. 2015. Concepto técnico sobre derrame de petróleo en el municipio de San Andrés de Tumaco (Nariño), en junio de 2015. Santa Marta. 20 p.
- INVEMAR. 2016. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia REDCAM. Informe técnico 2015. Santa Marta. 265 p
- INVEMAR. 2017a. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Garcés O., y L. Espinosa (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia: INVEMAR, MADS y CAR costeras. Informe técnico 2016. Serie de publicaciones periódicas No. 4 (2017) del INVEMAR, Santa Marta. 260 p.
- INVEMAR. 2018. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Bayona-Arenas, M. y Garcés-Ordóñez, O. (Ed). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico 2017. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 336 p.+ anexos.
- INVEMAR. 2019a. 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. 2019b. 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. 2020a. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Luisa F. Espinosa, Paola Obando y Ostin Garcés (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS,



- CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta, 171 p.
- INVEMAR. 2020b. 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., UNIVALLE y CORPONARIÑO. 2017. Implementación de acciones que contribuyan a la rehabilitación ecológica de áreas afectadas por hidrocarburos en zona costera y piedemonte del departamento de Nariño. Espinosa, L.F. (Ed). Resolución No. 1516 y Acuerdo No. 010 de 2016, MinAmbiente. Código proyecto: PRYCAM-012-16. Informe técnico final. Santa Marta. 497 p.
- INVEMAR-CORPAMAG. 2021. Condiciones ambientales de la zona marino-costera del departamento del Magdalena como herramienta para la gestión y protección de los ecosistemas marinos y costeros en jurisdicción de Corpamag. Informe Técnico Final. Convenio Interadministrativo 451-2020. PRY-CAM-002-21. CORPAMAG-INVEMAR. Santa Marta, 195 p
- INVEMAR-CRA. 2017. Acciones interinstitucionales de investigación básica y aplicada sobre los recursos marinos y costeros que soporten la planificación y gestión ambiental de la zona costera del departamento del Atlántico. Convenio CRA 002 de 2017. Código PRY-CAM-010-17 ITF. Santa Marta. 130 p + Anexos
- 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. CRA-INVEMAR. Santa Marta. 45 p.
- Iñiguez, M.E., Conesa, J.A., Fullana, A., 2016. Marine debris occurrence and treatment: a review. Renew. Sust. Energ. Rev. 64, 394–402. <a href="https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.031">https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.031</a>.
- Ivar do Sul J., M. Costa, J. Silva-Cavalcanti y M. Araujo. 2014. Plastic debris retention and exportation by a mangrove forest patch. *Marine Pollution Bulletin*, 78 (1-2), 252-257. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.011.
- Knox, G.A. 2001. The ecology of seashore. CRC Press. Boca Raton. 557 p.
- Kontas, A. 2006. Mercury in the Izmir Bay: An assessment of contamination. Journal of Marine Systems, 61(1-2), 67-78. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2006.03.003

- 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.
- Lazala, M. y L. N. Parra. 2010. Geologia estructural y Geomorfologia. Pp. 15 21. En: J.O. Rangel-Ch. (ed). Colombia diversidad biotica 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
- Long, E., D. MacDonald, S. Smith y F. Calder. 1995. Incidence of Adverse Biological Effects within Ranges of Chemical Concentration in Marine and Estuarine Sediments. *Environmental Management*, 19(1), 81-97.
- 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. A. y J. G. Vásquez. 2005. Hidrodinámica y distribución de coliformes en el Golfo de Urabá.
- Mancera-Rodríguez, N. J. y R. Álvarez-León. 2006. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. Acta biológica colombiana, 11(1), 3-23.
- Marín B, Garay J, Ramírez G, Betancourt J, Troncoso w, & Gómez ML. 2005. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. Informe Final Diagnóstico Nacional y Regional 2005.
- 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
- Martínez, S. Q., Y. M. Hinestorza y L. V. Porras. 2014. Influencia de la marea y factores antropogénicos sobre la calidad fisicoquímica de aguas costeras en Nuquí, Chocó. *Revista Bioetnia*, 11(1), 17-24.
- Massoud, M., F. Al-Abdali and A. Al-Ghadban. 1998. The status of oil pollution in the Arabian Gulf by the end of 1993. *Environment International*, 24(1/2): 11-22. https://doi.org/10.1016/S0160-4120(97)00117-7



- MinAgricultura. 2016. Evaluaciones agropecuarias municipales. Disponible en: https://www.agronet.gov.co/Paginas/ProduccionNacionalDpto.aspx (con acceso el 30/1/2018).
- MinAmbiente y CORPOURABA. 2007. Establecimiento de los objetivos de calidad requerimiento de los planes de saneamiento y manejo de vertimientos (psmv) a las entidades prestadoras del servicio de alcantarillado de la jurisidicción de corpouraba. Cuenca del Río Volcán Municipio de Arboletes. 35 p.
- 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.
- MinMinas. 2014. Estudio de la cadena del mercurio en Colombia con énfasis en la actividad minera de oro, Tomo III. Ministerio de minas y energía. Colombia. 252 P.
- MinMinas. 2016. Plan estratégico sectorial para la eliminación del uso del mercurio, la ruta hacia un beneficio sostenible del oro. Ministerio de minas y energía. Colombia, Bogotá D.C. 46 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.
- MinSalud. 2020. Resolución número 385 del 12 de marzo del 2020, por el cual se declara emergencia sanitaria por causa de coronavirus COVID-19 y se adoptan medidas para hacer frente al virus. Bogotá, Colombia.
- Molina, A., C. Molina y P. Chevillot. 1992. La percepción remota aplicada para determinar la circulación de las aguas superficiales del Golfo de Urabá y las variaciones de su línea de costa. Boletín científico CIOH, (11), 43-58.
- Montealegre, C. y G. Mejía. 2015. Sedimentación en la bahía de Cartagena, un impacto socioeconómico. *Dictamen Libre*, 16, 11 20.
- Naji, A., Z. Esmaili, S. Mason y A. Vethaak. 2017. The occurrence of microplastic contamination in littoral sediments of the Persian Gulf Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(25), 20459-20468. doi: 10.1007/s11356-017-9587-z.
- Negrete, J. L. M., J. G. Ortega-Ruíz, A. E. N. Frómeta, G. H. E. Montes, I. D. U. Cárdenas, J. J. P. Hernández y A. J. E. Martínez. 2016. Remoción de cipermetrina presente en el baño de ganado utilizando humedales construidos. Ciencia & Tecnología Agropecuaria, 17(2), 203-216.
- Nhon, N.T.T.; Nguyen, N.T.; Hai, H.T.N.; Hien, T.T. 2022. Distribution of Microplastics in Beach Sand on the Can Gio Coast, Ho Chi Minh City, Vietnam. Water, 14, 2779. https://doi.org/10.3390/w14182779.
- NOAA. 2020. 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/
- 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/
- Noriega, C. E., K. Muniz, M. J. Flores-Montes, S. J. Macêdo, M. Araujo, F. A. Feitosa y S. R. Lacerda. 2009. Series temporales de variables hidrobiológicas en un estuario tropical (Brasil). Revista de biología marina y oceanografía, 44(1), 93-108.
- O'Hare, M. T., Baattrup-Pedersen, A., Baumgarte, I., Freeman, A., Gunn, I. D., Lázár, A. N., & Bowes, M. J. 2018. Responses of aquatic plants to eutrophication in rivers: a revised conceptual model. Frontiers in plant science, 9, 451.
- Obando, P. y Espinosa, L. 2020. Diagnóstico y Evaluación de Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Valle del Cauca. 124-135. En: INVEMAR. 2020. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. En: Luisa F. Espinosa, Paola Obando y Ostin Garcés (Ed). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 171 p.
- OMS. 2003. Directrices para ambientes de aguas recreativas seguras. Costa y aguas frescas. Organización Mundial de la Salud, Vol. 1. Ginebra. 219 p.
- Ordóñez, C., L. Ayora, R. Mejía y L. Cerdán. 2014. Control químico del gusano de la mazorca del maíz Heliothis Zea Boddie en maíz Choclero Blanco Urubamba. Aporte Santiaquino, áa-15.
- OSPAR, 2010. Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area. London. 84 p. https://www.ospar.org/ospar-data/10-02e\_beachlitter%20guideline\_english%20only.pdf. ISBN 9036319739.
- Otero E., Mosquera L., Silva G., Guzmán J. 2002. Golfos y bahías de Colombia. Bogotá: Banco de Occidente. ISBN 978-958-95504-2-7. Consultado el 06 de enero de 2023.
- Padilla Pino, Y. M. 2020. Determinación de metales pesados y contaminantes emergentes (ppcps) en peces y aguas del golfo de Urabá Colombia.
- Palacios-Torres, Y., D. Jesus y J. Olivero-Verbel. 2020. Trace elements in sediments and fish from Atrato River: an ecosystem with legal rights impacted by gold mining at the Colombian Pacific. *Environmental Pollution*, 256, 113290.
- Paramo, J., Correa, M. y Núñez S. 2011. Evidencias de desacople físico-biológico en el sistema de surgencia en La Guajira, Caribe colombiano, Revista de Biología Marina y Oceanografía, 46(3): 421-430.



- 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.
- Pardo, S. 2017. Estimación del volumen de sedimentos de la cuenca del Río Ranchería. Tesis de pregrado. Facultad de Estudios a Distancia FADEIS. Universidad Militar Nueva Granada.
- Plata, Á. M., & Vega, D. I. 2016. Percepción local del estado ambiental en la cuenca baja del río Manzanares. Luna Azul, 42, 235-255. https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.15
- PNUMA. 2008. Guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales (agua, suelos/sedimentos y biota). Manual del Programa de Monitoreo Costero del Proyecto GEF-REPCar. PNUMA, Programa Ambiental de Caribe. Kingston, Jamaica. 121p.
- Portela, J. M. B., J. G. S. Díazgranados, L. M. Mejía-ladino y J. R. C. Kintz. 2011. Calidad de las aguas superficiales de Bahía Málaga, Pacífico Colombiano. Acta Biológica Colombiana, 16(2), 175-192.
- Prarat, P. & Hongsawat, P. 2022. Microplastic pollution in surface seawater and beach sand from the shore of Rayong province, Thailand: Distribution, characterization, and ecological risk assessment. Marine Pollution Bulletin, 174, 113200. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113200
- PRTR, 2021. Registro estatal de emisiones y fuentes de contaminantes. Gobierno de España. Disponibles en (16/12/2021): https://prtr-es.es/Antraceno,15648,11,2007.html; https://prtr-es.es/Fluoranteno,15675,11,2007.html; https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\_lang=es&p\_card\_id=1474&p\_version=2.
- 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/
- Rech, S., Macaya-Caquilpán, V., Pantoja, J. F., Rivadeneira, M. M., Madariaga, D. J., & Thiel, M. (2014). Rivers as a source of marine litter—a study from the SE Pacific. *Marine pollution bulletin*, 82(1-2), 66-75.
- Restrepo, J. D., Escobar, R., & Tosic, M. 2018. Fluvial fluxes from the Magdalena River into Cartagena Bay, Caribbean Colombia: Trends, future scenarios, and connections with upstream human impacts. *Geomorphology*, 302, 92–105. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.007
- Restrepo, J. y M. Tosic. 2017. BASIC Interacciones entre cuenca, mar y comunidades. Bahía de Cartagena. Resumen para tomadores de decisiones. Cartagena de Indias. Colombia. 30 p.

- 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 Andréis (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-Rubio, E. y J. Stuardo. 2002. Variability of photosynthetic pigments in the Colombian Pacific Ocean and its relationship with the wind field using ADEOS-I data. Proceedings Indian Academic Sciences (Earth Planet science). 111(3), 227-236.
- Rojas, G. & Sierra-Correa, P., 2010. Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado (DMI) bahía de Cispatá La Balsa Tinajones y sectores aledaños del delta estuarino del Río Sinú, departamento de Córdoba. Serie de Publicaciones Especiales 18. Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS); Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), Santa Marta, Colombia.
- Rojo-Nieto E. y T. Montoto. 2017. Basuras marinas, plásticos y microplásticos; orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. Ed. Ecologistas en acción. ISBN:978-84-946151-9-1. 4–38 p.
- Ruíz–Ochoa, M., Bernal, G. & Polanía, J. 2008. 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).
- Salas-Salazar, L., 2016. Conflicto armado y configuracion territorial: elementos para la consolidacion de la paz en Colombia. Bitacoras 26(2), 45-57. https://doi.org/10.15446/bitacora.v26n2.57605
- Sánchez, A., González-Yajimovich, O., Balart, E., López-Ortiz, B. E., Aguíñiga-García, S., & Ortiz-Hernández, M. 2013. Acumulación de carbono orgánico total y carbonato de calcio en la zona de oxígeno mínimo del Pacífico nororiental mexicano. Revista mexicana de ciencias geológicas, 30(1), 222-232.
- SEACOR. 2019. Programa de Prestación de Servicio Público de Aseo. Municipio de San Antero. Última actualización: mayo de 2019.



- Shetty, A., & Goyal, A. (2022). Total organic carbon analysis in water A review of current methods. *Materials Today: Proceedings*, 65, 3881-3886. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.173
- 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.
- Sierra P.C., A. Sánchez, Á. López, J. C. Rodríguez, C. A. Muñoz, C. Á. Satizabal y M. Hernández. 2009. Ordenamiento ambiental de los manglares del municipio de Timbiquí, departamento del Cauca (Pacífico colombiano).
- 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.
- Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla Triple A S.A. E.S.P. 2020. Programa de Prestación del Servicio de Aseo. Municipio de Puerto Colombia. Última actualización: diciembre de 2020. Versión 07 de 07.
- Solano, B. 2012. Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias. Bahía Solano-Chocó.
- Søndergaard, M., & Jeppesen, E. 2007. Anthropogenic impacts on lake and stream ecosystems, and approaches to restoration. *Journal of Applied Ecology*, 44(6), 1089–1094. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01426.x.
- Sosa, T., Sánchez, J., Melgarejo, L., 2009. Papel funcional de los hongos en ecosistemas de manglar. Boletín Investigaciones Marinas y Costeras, 38(1), 39-57.
- Strickland J y T. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada. Segunda Edición. Otawa. 328 p.
- Su, L., Nan, B., Hassell, K.L., Craig, N.J., Pettigrove, V. (2019). Microplastics biomonitoring in Australian urban wetlands using a common noxious fish (Gambusia holbrooki). Chemosphere, 228, 65–74. http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.114
- 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.
- Tesen Vaez, A. J. P. 2019. Tratamiento químico y biológico en el control de Trichoplusia ni en el cultivo del repollo (Brassica oleracea var capitata) Carabayllo, 2019.

- Thomas, Y.F., Garcia Valencia, C., Cesaracci, M., Rojas, G.X. 2007. El Paisaje en El Golfo. In: García-Valencia, C. (Ed.), Atlas del Golfo de Urabá: Una Mirada Al Caribe de Antioquia Y Chocó. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras Invemar– y Gobernación de Antioquia, Santa Marta Colombia
- Toro, V., W. Mosquera, N. Barrientos y Y. Bedoya. 2019. Circulación oceánica del golfo de Urabá usando campos de viento de alta resolución temporal. Boletín Científico CIOH, 38(2), 26-35.
- 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.
- Troncoso, W., L. Vivas, J. Sánchez, S. Narváez, L. Echeverry y J. Parra. 2009. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Informe técnico REDCAM 2009. INVEMAR, Santa Marta. 185 p.
- UNEP., IAEA y IOC. 1992. Métodos y materiales de referencia: un programa de apoyo integral para las evaluaciones regionales y globales de la contaminación marina. 75 p.
- UNESCO. 1984. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. Manuales y guías No. 13 de la COI. 87 p.
- Unión Europea. 2006. Directiva (UE) 2006/7/EC del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 febrero de 2006, relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/EEC. Diario Oficial de la Unión Europea, L64/37, 04 de marzo de 2006, 1-15 p.
- UNIVERSIDAD DEL VALLE. (1999). Estudio hidrodinámico y sedimentológico de la bahía de Buenaventura mediante la implementación del modelo matemático Mike21. Ministerio de Transporte. Dirección General de Transporte Marítimo, Laboratorio de Proyectos Hidráulicos del Pacífico Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- UNODC y G.D.C. 2020. Explotación de oro de aluvión. Evidencias a partir de percepción remota 2019. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) y Gobierno de Colombia (G.D.C), 231 P.
- Vallejo-Toro, P. P., Vásquez-Bedoya, L. F., Correa, I. D., Bernal-Franco, G. R., Alcántara-Carrió, J. & Palacio-Baena, J. A. 2016. Impact of terrestrial mining and intensive agriculture in pollution of estuarine surface sediments: Spatial distribution of trace metals in the Gulf of Urabá, Colombia. Marine Pollution Bulletin, 111(1-2), 311-320. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.093
- Vargas O., G. Prieto, L. M. González y A. Matamoros. 2004. Geoquímica de metales pesados en suelos de la cuenca del Río Bogotá. Geoglogía Básica.
- Vásquez, D. 2006. Dinámica estructural de la comunidad fitoplanctónica en la bahía de Cispatá, asociada a la industria camaronera loca. Tesis de pregrado, Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano.



- Vásquez-Molano D, Molina A, Duque G. (2021). Distribución espacial y aumento a través del tiempo de microplásticos en sedimentos de la Bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 50(1), 27-42. https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.1.1021
- Velásquez Montoya, L. 2013. Modelación del transporte de sedimentos en el golfo de Uraba, Colombia (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT).
- Vivas-Aguas, L., M. Tosic, J. Sánchez, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt, J. Parra, L. Echeverry y L.F. Espinosa. 2010. Diagnóstico y Evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Informe técnico REDCAM 2010. INVEMAR, Santa Marta. 208 p.
- Vivas-Aguas, L.J. 2011. Formulación del índice de calidad de aguas costeras (ICAM) para los países del Pacífico Sudeste. Documento Metodológico. Proyecto SPINCAM. INVEMAR. Santa Marta. 42 p.
- Vivas-Aguas, L.J., M. Tosic, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt, J. Parra, M. Carvajalino y L. Espinosa. 2012. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. REDCAM. Informe técnico 2011. INVEMAR. Santa Marta, 229 p.
- Vivas-Aguas, L.J., J. Sánchez., B. Cadavid., J. Betancourt, M. Quintero., Y. Moreno., C. Santana., I. Cuadrado., K. Ibarra., M. Ríos., P. Obando y D. Sánchez. 2014a. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones No. 4. Informe Técnico REDCAM 2013, INVEMAR, Santa Marta. 314 p.
- Vivas Aguas, L.J., M. Vargas Morales, K. Guiñen Oñate, M. Villarraga y D. C. Sanchéz Rodríguez. 2014b. Vulnerabilidad de la población costera frente a la contaminación orgánica y microbiológica en la bahía de Buenaventura.
- Vivas-Aguas, L.J., K. Ibarra, J. Sánchez, M. Martinez, Y. Nieto, Y. Moreno, I. Cuadrado, P. Obando, O. Garcés-Ordóñez, D. Sánchez, M. Villarraga y O. Sierra. 2015. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones del Invemar No. 4 (2015). Informe Técnico REDCAM 2014, INVEMAR, Santa Marta. 320 p.
- Vivas-Aguas, L.J., 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., P. Obando, M. Ríos y J. Sánchez. 2019. Evaluación de la calidad de aguas en la zona marino-costera del departamento de Nariño. informe técnico final. Convenio interadministrativo no. 691 de 2018. CORPONARIÑO INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andréis, Santa Marta.84 p.
- Vivas-Aguas, L.J, P.S. Obando-Madera, T. Córdoba-Meza y M. Castillo-Viana. 2021. Metodología de la operación estadística índice de calidad de aguas marinas y costeras ICAM. Santa Marta. 90p.

- 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.
- Wang, C., Ding, Y., Guo, Z., Lin, H., & Wu, J. 2022. Spatial–temporal distribution of total organic carbon and its transportation in the Jiulong River Estuary. *Scientific Reports*, 12(1), 1-15.
- Wang, D. Y., Zhu, M. X., Sun, C. H., Ma, K., Sun, W. X., Zhang, X. R., & Sun, Z. L. 2021. Geochemistry of iron and sulfur in the Holocene marine sediments under contrasting depositional settings, with caveats for applications of paleoredox proxies. Journal of Marine Systems, 220, 103572. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2021.103572
- Wang, F., Leung, A. O. W., Wu, S. C., Yang, M. S., Wong, M. H. 2009. Chemical and ecotoxicological analyses of sediments and elutriates of contaminated rivers due to e-waste recycling activities using a diverse battery of bioassays. Environmental Pollution, 157(7), 2082–2090. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.02.015
- Weinstein, J.E., Croker, B.K., Gray, A.D., 2016. From macroplastic to microplastic: degradation of high-density polyethylene, polypropylene, and polystyrene in a salt marsh habitat. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(7), 1632–1640 p. https://doi.org/10.1002/etc. 3432.
- Willington, S., & Jhon, G.-M. (2019). La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa [article]. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía (1), 1. https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.76919.
- Wu N., Y. Zhang, X. Zhang, Z. Zhao, J. He, W. Li, Y. Ma y Z. Niu. 2019. Occurrence and distribution of microplastics in the surface water and sediment of two typical estuaries in Bohai Bay, China. *Environmental Science, Processes & Impacts*, 21, 1143-1152. doi: 10.1039/C9EM00148D.
- 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
- Zuluaga, C. A., Ochoa-Yarza A., Muñoz, C. A., Guerrero, N. M., Martínez, A. A., Medina, P. A., Pinilla, A. O., Ríos, P. B., Rodríguez, B. R., Salazar, E. O., Zapata, V. P. 2009. Proyecto de Investigación: Cartografía e historia geológica de la Alta Guajira. Memoria de las planchas 2, 3, 5 y 6 (con parte de las planchas 4, 10 y 10bis). Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS.