



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

DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS DEL CARIBE Y PACÍFICO COLOMBIANOS



Red de Vigilancia para la Conservación y
Protección de las Aguas Marinas y
Costeras de Colombia

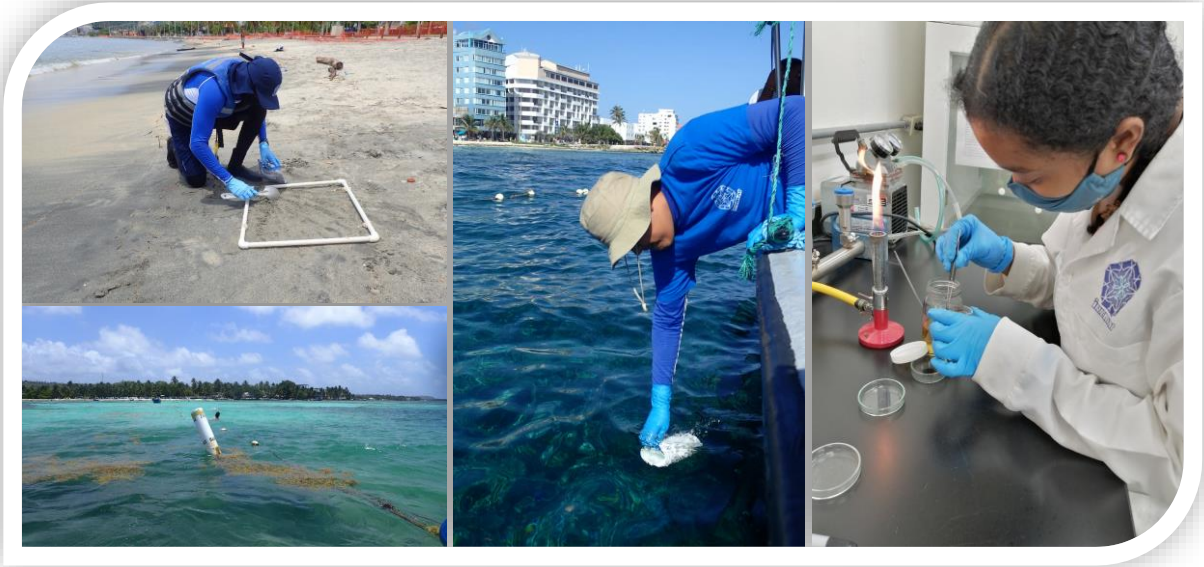
Informe Técnico
2021



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

Análisis histórico 2001-2021 de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico Colombianos

Informe Técnico REDCAM 2021



Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
“José Benito Vives de Andrés” - INVEMAR

Santa Marta D.T.C.H., enero de 2022



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

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



ENTIDADES NODOS QUE PARTICIPAN EN LA REDCAM



Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés - INVEMAR
Vinculado al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Santa Marta, enero de 2022



DIRECTIVOS INVEMAR

Director General

Francisco A. Arias Isaza

Subdirector Coordinación Científica (SCI)

Jesús Antonio Garay Tinoco

Coordinador del Programa Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)

David Alonso Carvajal

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

Mario Rueda Hernández

Coordinadora del Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)

Luisa Fernanda Espinosa

Coordinadora del Programa de Geociencias Marinas y Costeras (GEO)

Constanza Ricaurte Villota

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

Paula Cristina Sierra Correa

Coordinador de la Coordinación de Servicios Científicos (CSC)

Julián Mauricio Betancourt

Subdirectora Administrativa (SRA)

Sandra Rincón Cabal

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)

OSTIN GARCÉS-ORDÓÑEZ

Investigador científico de la Línea Evaluación y Seguimiento de la Calidad Ambiental Marina (ESC) (Hasta 31 de diciembre 2021)

JOSE FRANCISCO AVILA CUSBA

Investigador científico de la Línea Evaluación y Seguimiento de la Calidad Ambiental Marina (ESC)

JUAN FERNANDO SILDARRIAGA VELEZ

Investigador científico de la Línea Evaluación y Seguimiento de la Calidad Ambiental Marina (ESC)

ANDRÉS FELIPE GRANADOS BRICEÑO

Investigador científico de la Línea Evaluación y Seguimiento de la Calidad Ambiental Marina (ESC)

JAIR JOSE VALDES CARRASCAL

Auxiliar de investigación de la Línea Evaluación y Seguimiento de la Calidad Ambiental Marina (ESC)

Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM):

Cesar Bernal, Leydy Alarcón, Yurley Tatiana Zapata, Olga Díaz, Roika Angulo, Halbin Serrano, Gustavo Lara, Luisa Daza, Edinson Orozco y Kelvin Varela.

Laboratorio de Servicios de Información (LABSIS):

Julián Pizarro, Julio Bohórquez, Camilo Tinoco, Leonardo Arias, Felipe Valencia, Janneth Andrea Beltrán Ibáñez, Diana Romero y Lina Paola Vásquez Prieto.

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

ISSN digital: 2389-8615

Citar informe completo como:

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.

Citar capítulo como:

Autores. 2022. Título. Intervalo de páginas. En: 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

EQUIPO TÉCNICO DE LOS MIEMBROS DE LA REDCAM

MINAMBIENTE - DIRECCIÓN DE ASUNTOS MARINOS, COSTEROS Y RECURSOS ACUÁTICOS

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

CORALINA

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

CORPOGUAJIRA

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

CORPAMAG

Alfredo Martínez – Subdirector de Gestión Ambiental
Jorge Torregroza – Profesional Especializado
Clara Bomachera – Contratista

C.R.A.

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

CARDIQUE

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

CARSUCRE

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

CVS

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

CORPOURABÁ

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

CODECHOCÓ

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

CVC

Luisa Marina Baena Álvarez – Coordinadora Laboratorio Ambiental
Erwin Jair Millan Sandoval – Profesional Especializado
Lina Alejandra Veitia Guzman – Profesional Universitario
Sheyla Mairelis Orozco 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
Jorge Leonardo Bolaños Herrera- Técnico Operativo
Leonardo Vergara Patiño – Técnico Operativo
Richard Armando Michileno Orobio – Técnico Operativo

CRC

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

CORPONARIÑO

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



AUTORES POR CAPITULO

Capítulo: INTRODUCCIÓN, ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

Paola Sofía Obando Madera - INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Diaz - INVEMAR
José Francisco Avila Cusba - INVEMAR
Ostin Garcés Ordóñez - INVEMAR
Andrés Granados - INVEMAR
Leydy Alarcón - INVEMAR

Equipo Técnico Unidad Ambiental Costera - CORPOURABA

Capítulo: SISTEMA DE INFORMACIÓN REDCAM

Paola Sofía Obando Madera - INVEMAR
Jair José Valdes Carrascal - INVEMAR
Camilo Antonio Tinoco - INVEMAR
Julio Bohorquez Naranjo - INVEMAR
Julián José Pizarro Pertuz - INVEMAR

Capítulo: ANÁLISIS NACIONAL HISTÓRICO

Paola Sofía Obando Madera - INVEMAR
Lizbeth Janet Vivas Aguas - INVEMAR
Tania Córdoba Meza - INVEMAR
Ostin Garcés Ordóñez - INVEMAR

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

Paola Sofía Obando Madera - INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Diaz - INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA

Andrés Granados - INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera - INVEMAR
José Francisco Avila Cusba - INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Diaz - INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE MAGDALENA

Ostin Garcés Ordóñez - INVEMAR
Andrés Granados - INVEMAR
José Francisco Avila Cusba - INVEMAR
Jorge Torregroza - CORPAMAG
Lizbeth Janet Vivas Aguas - INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO

Paola Sofía Obando Madera - INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Diaz - INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR

Juan Fernando Saldarriaga - INVEMAR
Paola Sofía Obando Madera - INVEMAR
José Francisco Avila Cusba - INVEMAR
Ostin Garcés Ordóñez - INVEMAR
Lizbeth Janet Vivas Aguas - INVEMAR
Mady Carolina García - CARDIQUE

Análisis: DEPARTAMENTO DE SUCRE

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

Análisis: DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

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

Análisis: DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

José Francisco Avila Cusba - INVEMAR
Equipo Técnico Unidad Ambiental Costera - CORPOURABA
Luisa Fernanda Espinosa Diaz - INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE CHOCÓ

José Francisco Avila Cusba - INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Diaz - INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE VALLE DEL CAUCA

José Francisco Avila Cusba - INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Diaz - INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE CAUCA

Ostin Garcés Ordóñez - INVEMAR
José Francisco Avila Cusba - INVEMAR
Luisa Fernanda Espinosa Diaz - INVEMAR

Análisis: DEPARTAMENTO DE NARIÑO

Paola Sofía Obando Madera - INVEMAR
José Francisco Avila Cusba - INVEMAR
Lizbeth Janet Vivas Aguas - INVEMAR

Capítulo: EVOLUCIÓN HISTÓRICA DISEÑO MONITOREO CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS REDCAM

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



El ambiente
es de todos

Minambiente



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
ÁREA DE ESTUDIO.....	2
METODOLOGÍA	3
2. SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LA REDCAM	14
3. ANÁLISIS NACIONAL HISTÓRICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS	19
4. DEPARTAMENTO ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA	29
5. DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA	37
6. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA	51
7. DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO.....	66
8. DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR.....	74
9. DEPARTAMENTO DE SUCRE.....	86
10. DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.....	98
11. DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.....	115
12. DEPARTAMENTO DE CHOCÓ	127
13. DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA	138
14. DEPARTAMENTO DEL CAUCA.....	151
15. DEPARTAMENTO DE NARIÑO.....	164
16. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DISEÑO MONITOREO REDCAM	177
BIBLIOGRAFÍA.....	188

INTRODUCCIÓN

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

La REDCAM ha monitoreado semestralmente la calidad del agua marina y costera en aproximadamente 350 estaciones distribuidas en el Caribe y Pacífico colombianos. Después de 21 años de funcionamiento, en el año 2020 debido a las medidas de aislamiento para prevenir el contagio y propagación del COVID-19, decretado por el Gobierno Nacional, las actividades de monitoreo en algunos departamentos no se realizaron. Solo se pudo realizar monitoreo REDCAM en los departamentos de Magdalena y La Guajira antes del aislamiento obligatorio. Durante el aislamiento estricto y selectivo del año 2020, INVEMAR realizó un muestreo en Magdalena y las corporaciones CORALINA, CORPOGUAJIRA, CARDIQUE, CVS, CORPOURABÁ y CVC llevaron a cabo muestreos en su jurisdicción. En el año 2021, a pesar de continuar con algunas restricciones por la emergencia sanitaria por COVID-19, se reactivaron las salidas de campo a los 12 departamentos costeros, para monitorear variables fisicoquímicas y contaminantes, incluidos los microplásticos y determinar la calidad de aguas marinas y costeras.

El presente informe técnico contiene un análisis histórico de la información colectada entre los años 2001 y 2021, cabe destacar que algunos departamentos solo tienen información histórica hasta el año 2019 o 2020. Se presenta un análisis en un contexto nacional y departamental, en función de la ubicación de las estaciones en lugares para la preservación de la flora y fauna y para el uso recreativo de las playas, teniendo en cuenta las fuentes de contaminación marina, los criterios de calidad de la legislación colombiana y valores de referencia internacionales para aquellas variables que no cuentan con un criterio de calidad en Colombia.

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 2021, el monitoreo REDCAM se realizó en 274 estaciones, 196 en el Caribe, distribuidas en la zona marina y costera de los departamentos Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, La Guajira, Magdalena, Bolívar, Córdoba y Antioquia, y 78 en el Pacífico, distribuidas en los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño; en 209 estaciones se midieron las variables requeridas para determinar el Índice de calidad de aguas marinas y costeras – ICAM; en 11 de estas estaciones del Caribe se muestrearon sedimentos para analizar contaminantes; y se realizaron mediciones de microplásticos en arena de playa en 1 estación en La Guajira y 6 estaciones en Magdalena. Las estaciones 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.



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

METODOLOGÍA

1.1 FASE DE CAMPO

El diseño de muestreo de la REDCAM es semestral, tratando de abarcar las épocas climáticas de lluvias y sequía. Los muestreos de los departamentos de Magdalena, Atlántico, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño son realizados por personal del INVEMAR, con el apoyo de las respectivas corporaciones; al igual que en La Guajira, con excepción de la zona norte donde el muestreo es realizado por personal de CORPOGUAJIRA. En los departamentos de San Andrés, providencia y Santa Catalina, Bolívar, Antioquia y Valle del Cauca, los muestreos son realizados por personal de las Corporaciones, debido a que tienen laboratorios con capacidad técnica para hacer el monitoreo de manera autónoma.

En 2020, debido a las medidas de aislamiento para prevenir el contagio y propagación del COVID-19, solo se pudo realizar monitoreo REDCAM en los departamentos de Magdalena y La Guajira antes del aislamiento obligatorio. Durante el aislamiento obligatorio y selectivo, INVEMAR realizó un muestreo en Magdalena y las corporaciones CORALINA, CORPOGUAJIRA, CARDIQUE, CVS, CORPOURABÁ y CVC llevaron a cabo muestreos en su jurisdicción. En el 2021 fue posible retomar el monitoreo de calidad de aguas en los 12 departamentos costeros, con al menos dos muestreos en los departamentos de La Guajira, Magdalena, Bolívar, Córdoba, Antioquia, Valle del Cauca y Cauca; en el resto de los departamentos se realizó un solo muestreo.

En todas las estaciones de muestreo se midieron *in situ* las variables temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, usando equipos portátiles previamente calibrados; 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 plaguicidas organofosforados) y metales pesados disueltos. En las estaciones donde se colectaron muestras de sedimento, semidió materia orgánica, hidrocarburos del petróleo, plaguicidas organoclorados y organofosforados y metales pesados totales.

Como una variable nueva de la REDCAM, se colectaron muestras arena en 6 playas del departamento de Magdalena y en una (1) playa de La Guajira, para determinar basura marina. Las muestras se recolectaron en un transecto trazado en la línea de más alta marea en la playa, donde se establecieron cinco cuadrantes de 3 x 3 metros para el muestreo de macrobasuras y cinco subcuadrantes de 0,5 x 0,5 metros para el muestreo de microplásticos (Hidalgo-Ruz et al., 2018; Garcés-Ordóñez et al., 2020). En cada cuadrante, se recolectó la basura que se encontró en la superficie de la arena y en los primeros centímetros de profundidad, utilizando palitas metálicas de jardinería, la cual posteriormente se caracterizó y clasificó en las categorías: plástico, metal, vidrio, textil, papel-cartón, escombros y otros (OSPAR, 2010).

1.2 FASE DE LABORATORIO

En la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (**LABCAM**) del INVEMAR se analizaron las muestras de agua y sedimento recolectadas en los departamentos de Magdalena, Atlántico, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca, Nariño y La Guajira, con excepción de las mediciones de Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE) en el agua superficial de La Guajira, que fueron analizados en el Laboratorio Ambiental de la Corporación. De igual forma en el LABCAM se analizaron los extractos de plaguicidas y HPDD de las estaciones en Bolívar, Archipiélago de San Andrés y Antioquia. Los análisis de las muestras tomadas en 2019-2020 se realizaron con las metodologías estandarizadas que se describen en la Tabla 2.1. CORALINA, CARDIQUE, CORPOURABÁ y CVC realizaron los análisis de las muestras colectadas en las estaciones de sus respectivos departamentos, teniendo en cuenta los procedimientos internos de sus laboratorios.

Tabla 2.1. Parámetros y metodologías utilizadas en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR para las muestras de la REDCAM.

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medidas	Referencia
Fisicoquímicos	Salinidad	Electrométrico		APHA <i>et al.</i> , 2017 (N° 2520 B)
	Conductividad	Electrométrico	mS/cm	APHA <i>et al.</i> , 2017 (N° 2520 B)
	pH	Potenciométrico	Unidad	APHA <i>et al.</i> , 2017 (N° 4500-H B)
	Oxígeno disuelto	Óptico por luminiscenci	mg/L	ISO 17289-2014
	Temperatura	Electrométrico	°C	APHA <i>et al.</i> , 2017 (N° 2550 B)
	Transparencia Secchi	Disco Secchi	m	Garay, J. 2003
	Sólidos Suspendidos Totales	Gravimetría	mg/L	APHA <i>et al.</i> , 2017 (N° 2540 D)
	Turbidez	Nefelométrico	NTU	APHA <i>et al.</i> , 2017 (N° 2130 B)
	Amonio, Nitritos, Nitratos, Fosfatos	Espectrofotométrico	µg/L	Strickland Y Parsons, 1972
	Silicatos	Espectrofotométrico	µg/L	UNESCO/COI, 1983
COT	Combustión catalítica y determinación por analizador de carbono total	mg/L	APHA <i>et al.</i> , 2017 (N° 5310 B)	

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
	Fósforo total	Digestión con persulfato de potasio y cuantificación colorimétrica de ácido ascórbico	µg/L	Strickland Y Parsons, 1972 APHA et al., 2017 (N° 4500-P B)
	Clorofila a	Método tricromático por Espectrofotometría	µg/L	APHA et al., 2017 (N° 10200 H)
	COT	Oxidación seca de carbono y cuantificación por analizador de carbono TOC	%	ISO 11464:2006 NTC 5403 A
	Granulometría	Metodo gravimétrico dispersión con hexametafosfato de sodio y cribado en tamices	%	Dewis y Freitas, 1984
Plaguicidas organoclorados	21 compuestos de pesticidas clorados	Extracción líquido-líquido con diclorometano y determinación cromatográfica GC-MSD Modo SIM	ng/L	SW 846 rev 3,2016 (US EPA 3510C) SW 846 rev 4,2014 (US EPA 3620C) SW 846 rev 6,2018 (US EPA 8270E)
	21 compuestos de pesticidas clorados	Extracción Soxhlet, fraccionamiento en columna de florisil y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM	ng/g	SW 846 rev 3, 1996 (US EPA 3540C) SW 846 rev 3,1996 (US EPA 3620C) SW 846 rev 6,2018 (US EPA 8270E)
Plaguicidas organofosforados	25 compuestos de pesticidas organofosforados	Extracción líquido-líquido con diclorometano y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM	ng/L	SW 846 rev 3,2016 (US EPA 3510C) SW 846 rev 4,2014 (US EPA 3620C) SW 846 rev 6,2018 (US EPA 8270E)
	24 compuestos de pesticidas organofosforados	Extracción Soxhlet, fraccionamiento en columna de florisil y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM	ng/g	SW 846 rev 3, 1996 (US EPA 3540C) SW 846 rev 3,1996 (US EPA 3620C) SW 846 rev 6,2018 (US EPA 8270E)

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
Hidrocarburos	Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes del criseno	Extracción líquido-líquido y determinación Fluorométrica	µg/L	UNESCO/COI, 1984
	Hidrocarburos aromáticos policíclico HAP's (16 compuestos)	Extracción soxhlet, fraccionamiento sílica:alúmina y cuantificación por GC-MSD	ng/g	SW 846 rev 3, 1996 (US EPA 3540C) SW 846 rev 3, 1996 (US EPA 3630C) SW 846 rev 6, 2018 (US EPA 8270E)
Metales	Disueltos (Cadmio, Cobre, Hierro, Níquel, Plomo, Zinc)	Tratamiento con APDC y MIBK para extracción selectiva, seguido de re-extracción en fase ácida con HNO ₃ 1N y posterior cuantificación por espectrometría de AA con llama	µg/L	APHA et al., 2017 (N° 3111-C) APHA et al., 2017 (N° 3030 B y 3111 C modificado)
	Totales (Cadmio, Cobre, Hierro, Níquel, Plomo, Zinc, Cromo)	Digestión asistida por microondas y cuantificación por espectrometría AA llama	µg/g	SW 846 rev 0, 1996 (EPA 3052) APHA et al., 2017 (N° 3111 B)
	Mercurio	Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica.	µg/L	SW 846 rev 0, 2007 (EPA 7473)
	Mercurio total	Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica.	ng/g	SW 846 rev 0, 2007 (EPA 7473)
	Cromo hexavalente	Colorimetría	µg/L	APHA et al., 2017 (N° 3500-Cr B)
Microbiológicos	Coliformes totales	Fermentación en tubos múltiples	NMP/10 0 mL	APHA et al., 2017 (N° 9221 B)
	Coliformes Termotolerantes	Fermentación en tubos múltiples	NMP/10 0 mL	APHA et al., 2017 (N° 9221 E)
	Enterococos fecales, E. coli	Filtración por membrana	UFC/ 100 mL	ISO 7899:2:2000

***Plaguicidas medidos:** aldrín, dieldrín, endrín, endrín aldehído, endrín cetona, ppDDT, ppDDD, ppDDE, α , β , γ y δ HCH, heptacloro, heptacloro epóxido, α y γ 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.

****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.

Las muestras de basura marina se caracterizaron y analizaron de acuerdo con la metodología usada por Garcés-Ordóñez et al. (2020). Las muestras de sedimento para microplásticos se filtraron con agua microfiltrada a través de tamices de 1 mm y 500 μ m. El sedimento resultante se secó a 70°C por 48 horas y se identificaron visualmente bajo el estereoscopio los microplásticos con tamaños entre 1 y 5 mm y se realizó 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.

En el laboratorio de **CARDIQUE** se llevaron a cabo los análisis de las muestras de agua y sedimentos colectados entre los años 2001 al 2021 utilizando las metodologías descritas en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Parámetros y metodologías utilizadas en el laboratorio de CARDIQUE para las muestras de la REDCAM.

Matriz	Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida
Agua	Fisicoquímicos	Salinidad	S.M 2520-B	-
		Conductividad	S.M. 2510-B	mS/cm
		pH	S.M 4500-H-B	Unidad
		Oxígeno disuelto	S.M 4500-O-H	mg/L
		% Saturación de O2	S.M 4500-O-H	%
		Temperatura	S.M 2550-B	°C
		SST	S.M. 2540-D	mg/L
		Turbidez	S.M. 2130-B	NTU
		DBO5	S.M. 5210-B; 4500-O-H	mgO ₂ /L
		Nitratos	S.M. 4500-NO ₃ -E	mg NO ₃ -N/L
	Nitritos	S.M. 4500-NO ₂ -B	mg NO ₂ -N/L	
	Fósforo Reactivo Disuelto	S.M. 2500-P-E	mgP/L	
	Microbiológicos	Coliformes Totales	Tubos múltiples	NMP/100 mL
		Coliformes Fecales (Termotolerantes)	Tubos múltiples	NMP/100 mL
Sedimento	Fisicoquímicos	Materia Orgánica	Digestión ácida	mg/Kg
	Contaminantes inorgánicos	Mercurio Total (SDMT)	Pyro 915+	μ g/Kg

En el laboratorio de **CORPOGUAJIRA** se llevaron a cabo los análisis de las muestras de agua colectadas entre los años 2001 al 2021 utilizando las metodologías descritas en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Parámetros y metodologías utilizadas en el Laboratorio Ambiental de CORPOGUAJIRA para las muestras de la REDCAM.

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

En el laboratorio de **CORPOURABÁ** se llevaron a cabo los análisis de las muestras de agua y sedimentos colectados entre los años 2001 al 2020 utilizando las metodologías descritas en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. 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
Fisicoquímicas	Conductividad	Electrométrico	mS/cm	SM 2510 B ed. 23-2017
	pH	Electrométrico	Unidad	SM 4500-H+ B ed. 23-2017
	Oxígeno disuelto	Electrodo de Membrana	mg/L	SM 4500-O-G ed. 23-2017
	Temperatura	Sensor Temperatura	°C	SM 2550 B ed. 23-2017
	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

Tipo variable	Nombre variable	Método	Unidades medida	Referencia
	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 Líquido - Líquido Por Gc-Ms	µg/L	Método Interno
	Disueltos (Zinc)	Filtración - Llama Directa Aire - Acetileno	mg/L	SM 3030 B - 3111 B
Metales	Disueltos (Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo)	Filtración - Espectrometría de Absorción Atómica Electrotérmica	µg/L	SM 3030 B - 3113 B
	Hierro Totales (Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo)	Método Fenantrolina	mg/L	SM 3500-Fe B
		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.
Microbiológicos	Coliformes totales	Tubos Múltiples	NMP/100 mL	SM 9223 B, ed. 23-2017
	Coliformes Termotolerantes	Tubos Múltiples	NMP/100 mL	SM 9221 B,E ed. 23-2017

1.3 MANEJO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

Con el objetivo de evaluar los cambios de las condiciones de calidad de aguas superficiales marinas y costeras, se realizó un análisis estadístico de los datos REDCAM de 2001 a 2021, 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).

En los departamentos de Antioquia y Valle del Cauca, se realizaron diagramas de caja y bigotes para representar históricamente las variables fisicoquímicas: pH, Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Nitrato (NO_3) y Ortofosfato (PO_4^{3-}). Adicionalmente, se aplicó el test no paramétrico de Kruskal Wallis para identificar diferencia entre grupos y la prueba post hoc de Rangos con Signo de Wilcoxon para identificar los grupos que presentaban diferencias, las dos pruebas se realizaron con un nivel de confianza del 95%, mediante la función “*kruskal.test*” y “*pairwise.wilcox.test*” a través del software R (R Core Team, 2012). Los nutrientes (Nitrato y Ortofosfatos) y los SST, se graficaron y analizaron en escala logarítmica Log (x+1).

Con el propósito analizar la evolución de las condiciones de calidad del agua marina y costera, se utilizaron los cálculos del Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras (ICAM) disponibles en el sistema de información REDCAM para los departamentos de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño, usando la metodología descrita por Vivas-Aguas (2011) y Vivas-Aguas *et al* (2021). Este índice es una herramienta que permite analizar la tendencia y las variaciones de la calidad del agua marina y costera para la preservación de flora y fauna, integrando 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*) mediante una ecuación de promedio geométrico ponderado (Ecuación 1); 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 (Vivas-Aguas, 2011; Vivas-Aguas *et al.*, 2017).

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

Donde,

x_i = subíndice de calidad de cada variable i

w_i = factor de ponderación (peso) para el subíndice i

El ICAM se aplicó en las estaciones que cumplían con el tipo de agua 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 el seguimiento de los posibles impactos, mediante las cuales se puede reducir o mitigar el impacto sobre el ecosistema que esté

siendo afectado (Tabla 2.5). Para mayor información, se puede consultar la ficha metodológica del indicador, a través del enlace <https://icam-invemar.opendata.arcgis.com/>.

Tabla 2.5. 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.	Monitoreo y evaluación fisicoquímicos y tóxicos semestral.
Inadecuada	50-25	Agua que presenta muchas restricciones de uso.	Monitoreo/bioensayos/medidas de control y vigilancia. Evaluación: fisicoquímicos y tóxicos, plan de contingencia trimestral.
Pésima	25-0	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/100mL) (CTT <1000 NMP/100mL) establecidos por el Decreto 1076 de 2015 ([Minambiente, 2015](#)); y Enterococos Fecales (EFE) (EFE <100 UFC/100mL) 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/100mL), CTT (NMP/100mL) y EFE (UFC/100mL) fueron transformados a valores dicotómicos (0 = no cumple con el límite permisible; 1= cumple con el límite permisible), y. Posteriormente fue calculado el porcentaje de cumplimiento por estación y año (Ecuación 2).

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

El nivel de cumplimiento fue estimado a través de una escala de valoración establecida por rangos porcentuales (Tabla 2.6). Los porcentajes de concentración fueron representados en un mapa de calor usando la librería “ggplot2” para el software R ([R Core Team, 2012](#)). A su vez, los valores de concentraciones de Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totales y Enterococos Fecales, fueron transformadas a ln(x+1) y llevadas a un diagrama boxplot para representar la distribución de los datos.

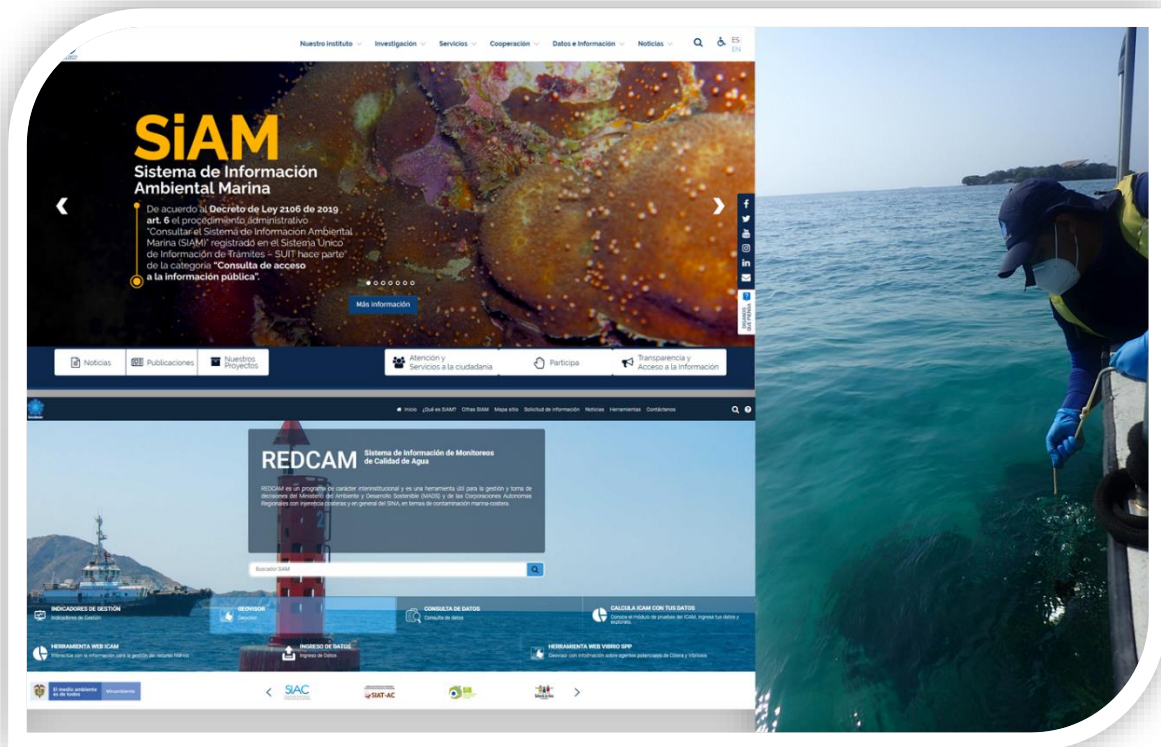
Tabla 2.6. Escalas del nivel de cumplimiento de concentraciones de Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totales y Enterococos Fecales para el uso recreativo de aguas.

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

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

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

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LA REDCAM: CONSULTA DE DATOS E INFORMACIÓN EN LÍNEA PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL



Portal sistema REDCAM componente del SIAM y toma de muestras de agua en Bolívar. Foto: Archivo CAM.

2. SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LA REDCAM

Dentro de las actividades para la gestión del recurso hídrico marino-costero de Colombia, se actualizó la base de datos del sistema de información de la REDCAM, con el ingreso de 11.821 datos colectados durante el año 2021; se crearon 15 metadatos correspondientes a las campañas de monitoreo REDCAM. Los usuarios de las corporaciones autónomas regionales (CAR) con jurisdicción costera, MinAmbiente y público general pueden acceder a los servicios de los módulos a través del enlace <http://siam.invemar.org.co/redcam> (Figura 2-1).

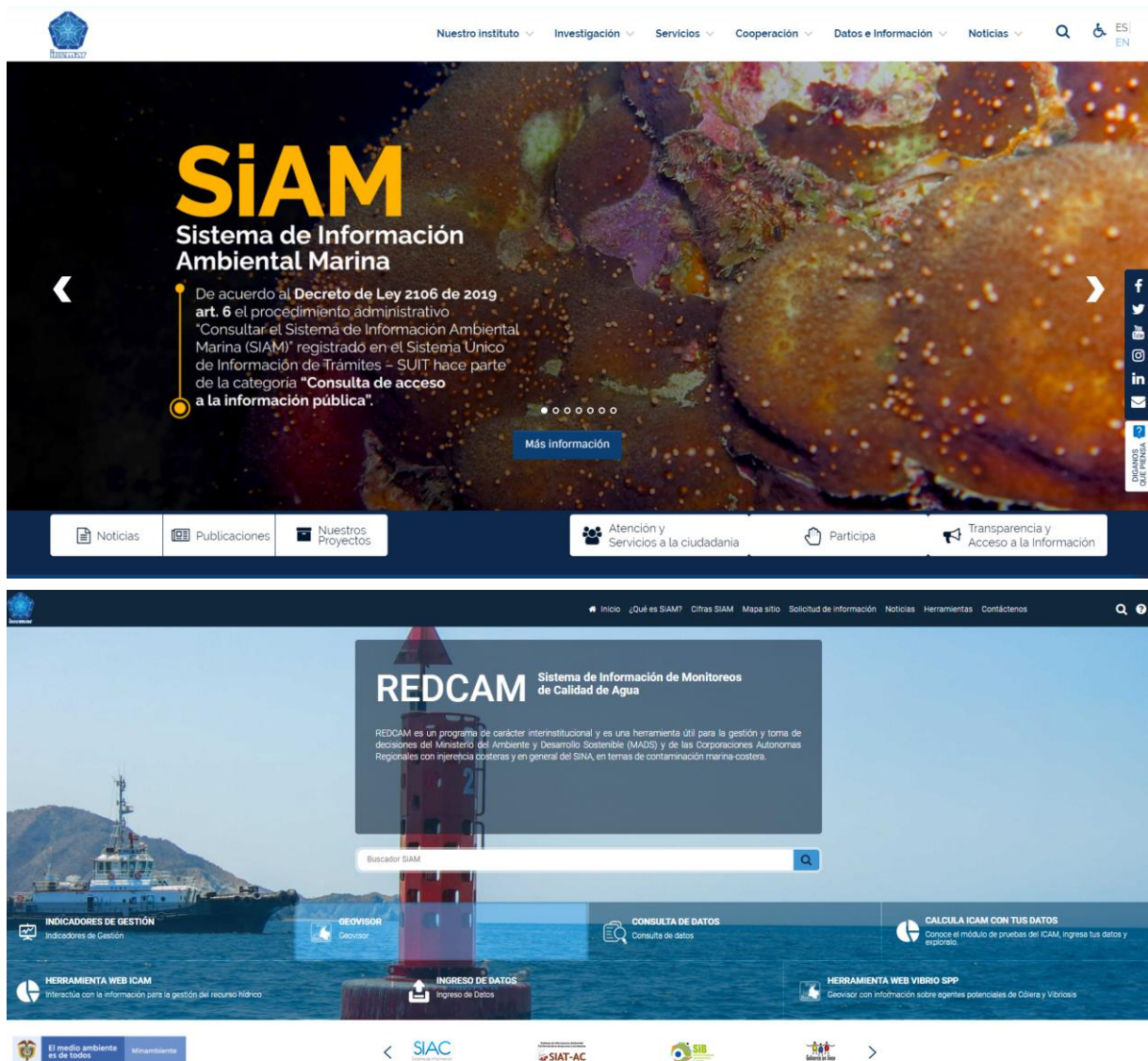


Figura 2-1. Sistema de Información Ambiental Marino de Colombia – SIAM y la plataforma de servicios Web del sistema de información REDCAM disponible en <https://siam.invemar.org.co/redcam>

Los metadatos de los muestreos realizados hasta el año 2021 se encuentran disponibles en GeoNetwork (Figura 2-2), una aplicación de inventario para administrar recursos referenciados espacialmente, en el enlace <http://cinto.invemar.org.co/geonetwork/srv/eng/main.home>.

The screenshot shows the GeoNetwork web interface. At the top, there is a logo for 'Colombia 50% Mar' and 'INVEMAR'. The main header reads 'Servicio de catalogación de información de Metadatos del SIAM'. Below the header, there are navigation links: 'Home | Contact us | Links | About | Help |'. A search bar is present with 'Simple Search' and 'Advanced Search' options. A sidebar on the left contains a 'WHAT?' field, a 'WHERE?' field with map icons, and a list of categories including Bathymetry, Biota, Boundaries, Climatology, Datasets, Earth cover, Economy, Environment, Farming, GIS, Geologic, Indicators, Inland waters, Maps Graphics, Oceans, Other information resources, Planning, Proyecto-MECCM-2013, RemotePerception, and Z3950 Servers. The main content area displays three search results, each with a title, abstract, keywords, schema, and extent. The first result is 'BASE DE DATOS DEL MONITOREO SEDIMENTOS DEL PRY-CAM-017-17 / CONVENIO NO. 032 DE 2017 CVS-URRÁ-INVEMAR'. The second is 'BASE DE DATOS DE LA REDCAM, MONITOREO CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA SEGUNDO SEMESTRE 2019'. The third is 'BASE DE DATOS DE LA REDCAM, MONITOREO CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA PRIMER SEMESTRE 2019'. Each result includes a 'Metadata' button and a 'No preview available' message.

Figura 2-2. Metadatos disponibles en la plataforma GeoNetwork.

El sistema de información de la REDCAM cuenta con el módulo de indicadores de gestión (Figura 2-3), disponible en el enlace <https://siam.invemar.org.co/redcam-indicadores-gestion>, donde se presenta la cantidad de variables, registros de estaciones y cantidad de datos disponibles por tipo de variables analizadas para cada departamento. Este módulo permite conocer el panorama de la información colectada por el monitoreo REDCAM en los 21 años de funcionamiento, a escala nacional y departamental; y con un módulo de consulta de datos disponible en <https://siam.invemar.org.co/redcam-consulta-datos> que permite revisar los valores estadísticos descriptivos de las variables medidas en cada departamento.

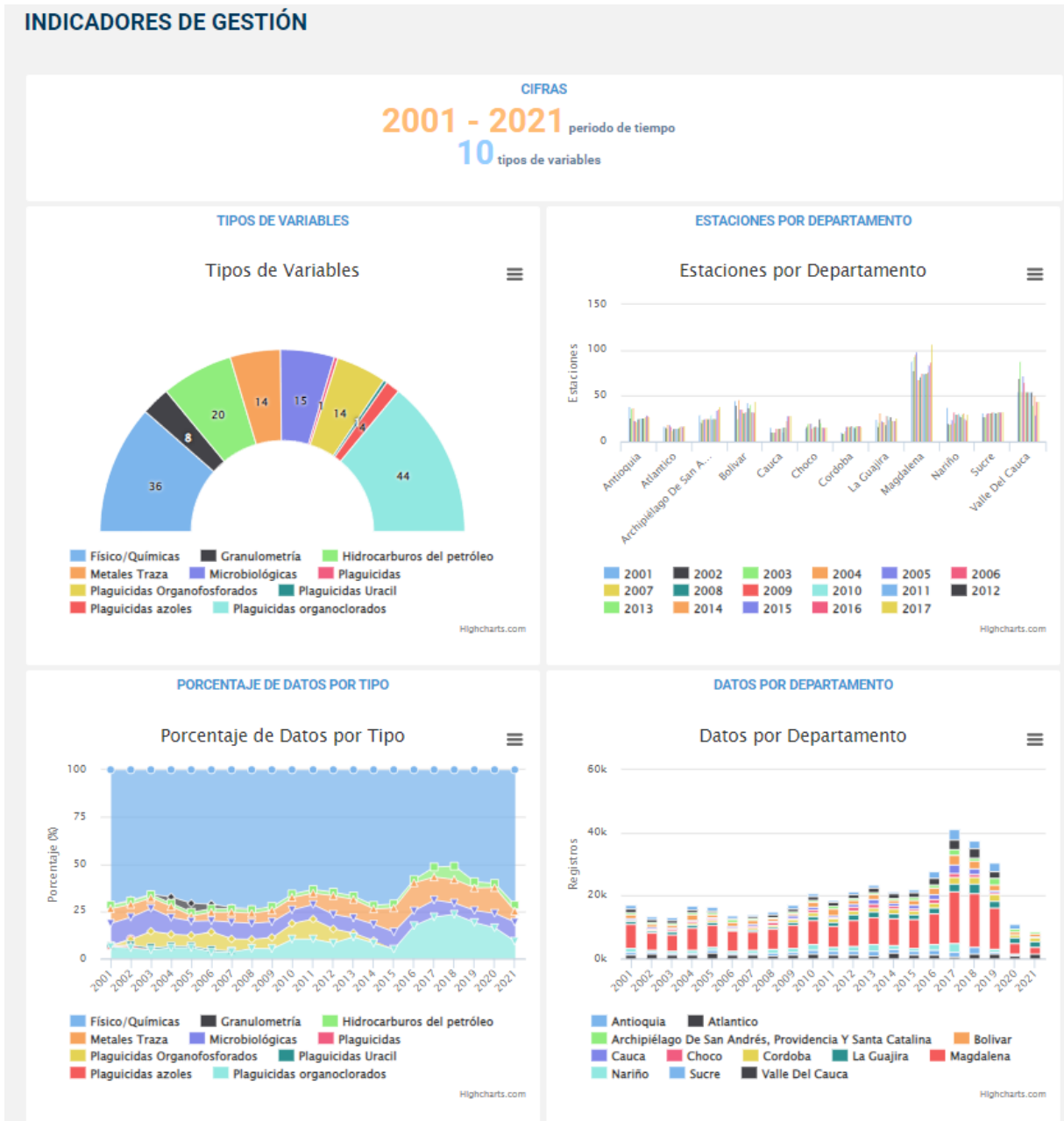


Figura 2-3. Módulo de indicadores de gestión de los datos disponibles para el periodo 2001 al 2021.

La cartografía dinámica se encuentra disponible en el Geovisor REDCAM Colombia (Figura 2-4) que está actualizado con los datos del año 2021, los cuales se validaron para actualizar los servicios bajo los procesos de vistas materializadas estructuradas, utilizando como motor de base de datos relacional ORACLE. El Geovisor se encuentra disponible en <https://siam.invemar.org.co/redcam-geovisor/>. En este módulo dinámico se visualizan los datos y capas de información en el territorio marino costero que los usuarios pueden consultar seleccionando la información de interés, sobre las estaciones de monitoreo que están georreferenciadas para los departamentos costeros de Colombia.

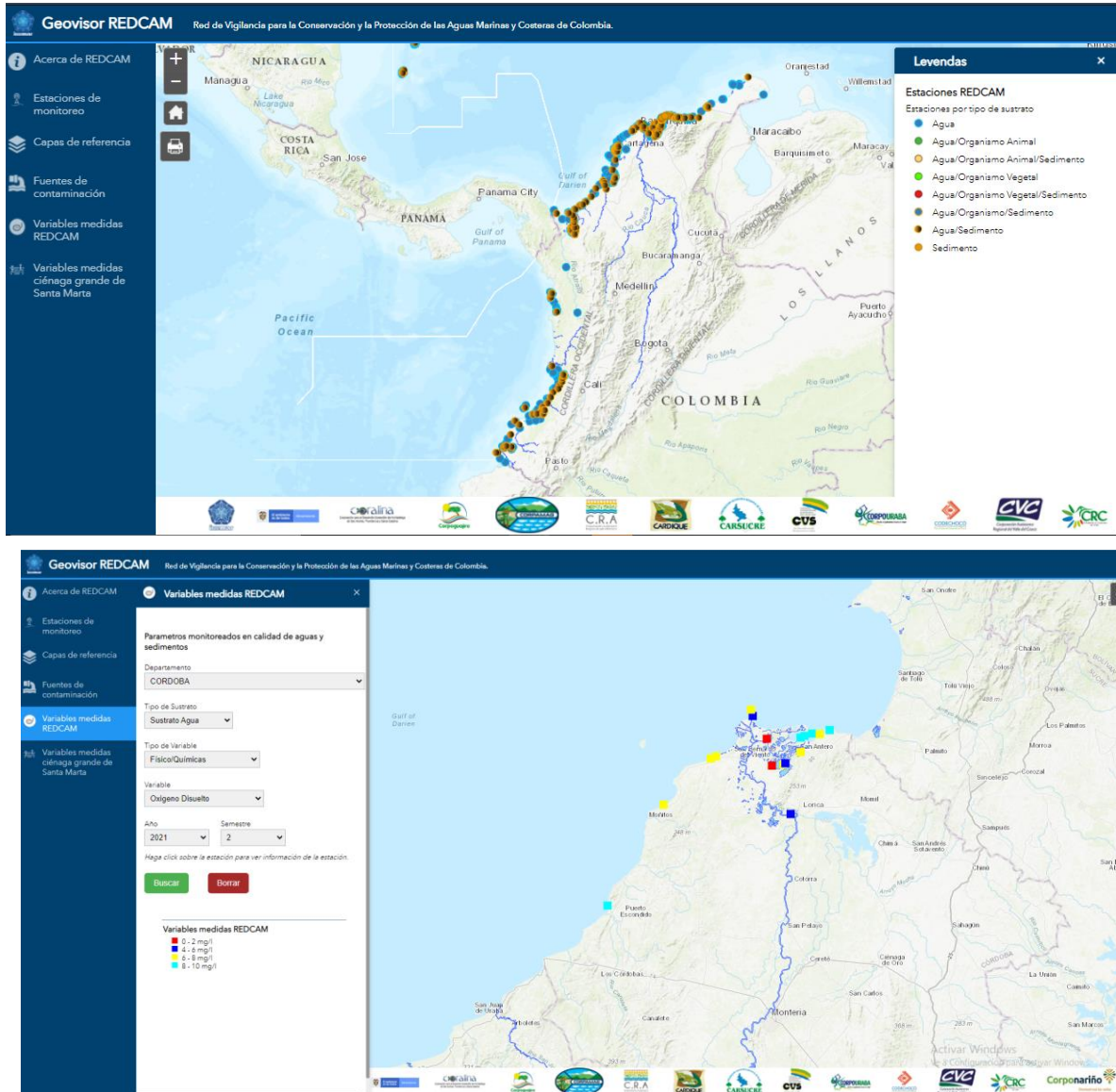
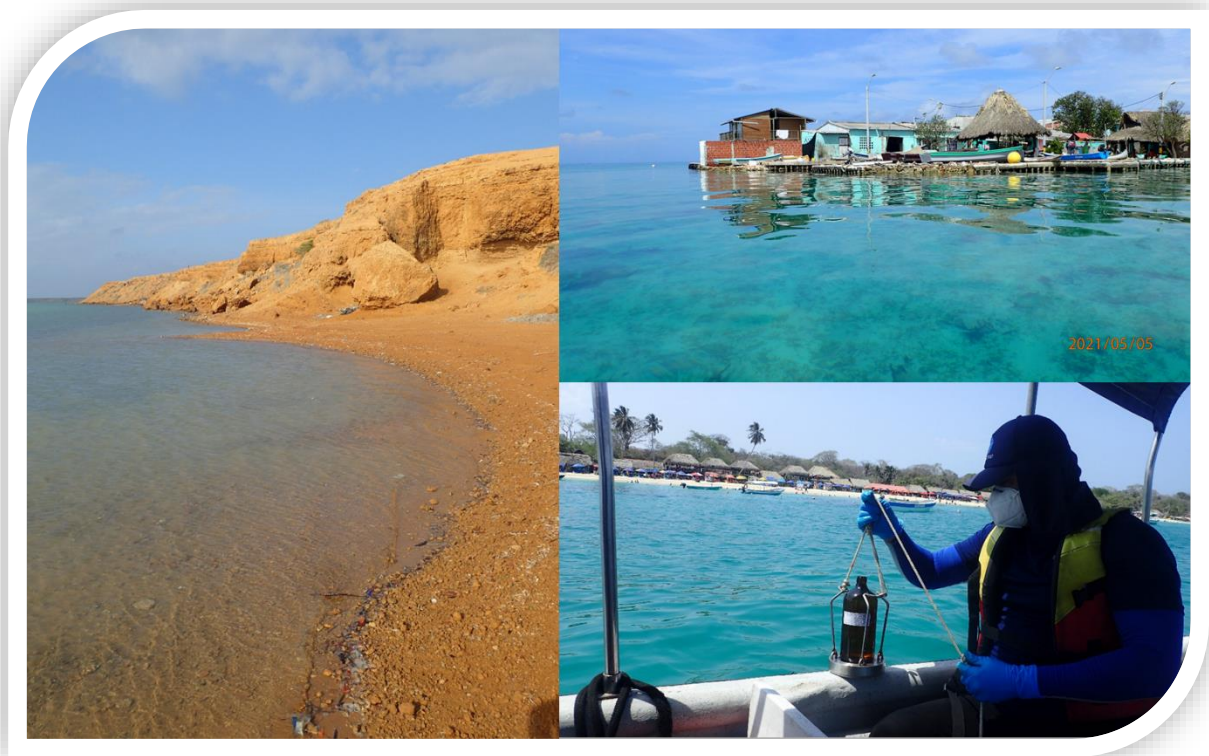


Figura 2-4. Geovisor REDCAM con ejemplo de la visualización de datos de Oxígeno Disuelto en el departamento de Córdoba año 2021.

DIAGNÓSTICO NACIONAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS



Estaciones de muestreo REDCAM en La Guajira, Sucre y Bolívar. Foto: Kelvin Varela y Archivo CAM

3. ANÁLISIS NACIONAL HISTÓRICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS

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 ([DNP, 2020](#)). La costa de la región Caribe colombiana se caracteriza por presentar épocas climáticas marcadas de lluvias y sequías, además de un alto desarrollo urbano e industrial, con ecosistemas de playas, arrecifes coralinos, pastos marinos y manglares de importancia tanto ambiental como para el desarrollo del turismo y la pesca. La costa de la región Pacífico, a diferencia del Caribe, presenta lluvias durante la mayor parte del año, el desarrollo urbanístico es menor que en el Caribe, concentrándose en dos grandes poblaciones (Buenaventura y Tumaco), y los ecosistemas predominantes son manglares y estuarios de numerosos ríos ([Gómez-Cubillos, et al., 2015](#); [INVEMAR, 2019](#)). Cerca de 43 ríos desembocan en el mar Caribe, donde sobresalen el Atrato, Sinú y Magdalena; y más de 56 ríos desembocan en el Océano Pacífico, destacando a los ríos San Juan, Micay y Mira por su caudal y extensión ([INVEMAR, 2019](#)).

Tanto en las costas Caribe y Pacífico, un importante factor de degradación ambiental de los ecosistemas marinos y costeros 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 (Figura 3-1; [INVEMAR, 2018a](#)). Adicionalmente, los eventos de emergencia ambiental, como los derrames de petróleo crudo en Tumaco, Golfo de Morrosquillo, Cartagena y Buenaventura, y de otras sustancias o residuos de forma intencional o accidental, con planes de contingencia deficientes, contribuyen a esta problemática en el país ([INVEMAR et al., 2017](#)).

Los residuos generados o derramados pueden contener materia orgánica, nutrientes, hidrocarburos del petróleo, residuos de plaguicidas, metales pesados, microorganismos de origen fecal y residuos plásticos que son vertidos directamente al mar o a los ríos que finalmente desembocan en el mar. Como consecuencia, la calidad de las aguas marinas y costeras en algunas zonas del país, como las bahías de Santa Marta y Cartagena, el golfo de Urabá y las bahías de Buenaventura y Tumaco, entre otros, se ve deteriorada, limitando los diferentes usos del agua ([INVEMAR, 2015](#); [INVEMAR, 2017a](#); [INVEMAR et al., 2017](#)).

Las buenas condiciones de la calidad del agua favorecen la preservación y conservación de la flora y fauna marina, donde su aprovechamiento sustentable y usos consuntivos, dependerán del conocimiento que se tenga de los cambios y efectos de la contaminación sobre los sistemas hídricos marinos y costeros de Colombia.

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 - ICAM_{PFF}. Para la interpretación de los resultados del ICAM_{PFF} 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 (2001-2021) del ICAM_{PFF} a escala nacional y los resultados de los muestreos realizados en 2021 en algunas estaciones de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Bolívar, Córdoba y Nariño. A partir de los resultados del ICAM_{PFF} se espera que el MinAmbiente en coordinación con el INVEMAR, promuevan las acciones de

evaluación y seguimiento del ambiente marino a escala nacional y que las corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible con jurisdicción marina, ejerzan control y vigilancia para su conservación e implementen acciones encaminadas para la protección de los ecosistemas marinos y costeros, a través de los instrumentos de administración ambiental y el fortalecimiento de las acciones de prevención y mitigación de las fuentes contaminantes por parte de las entidades territoriales.

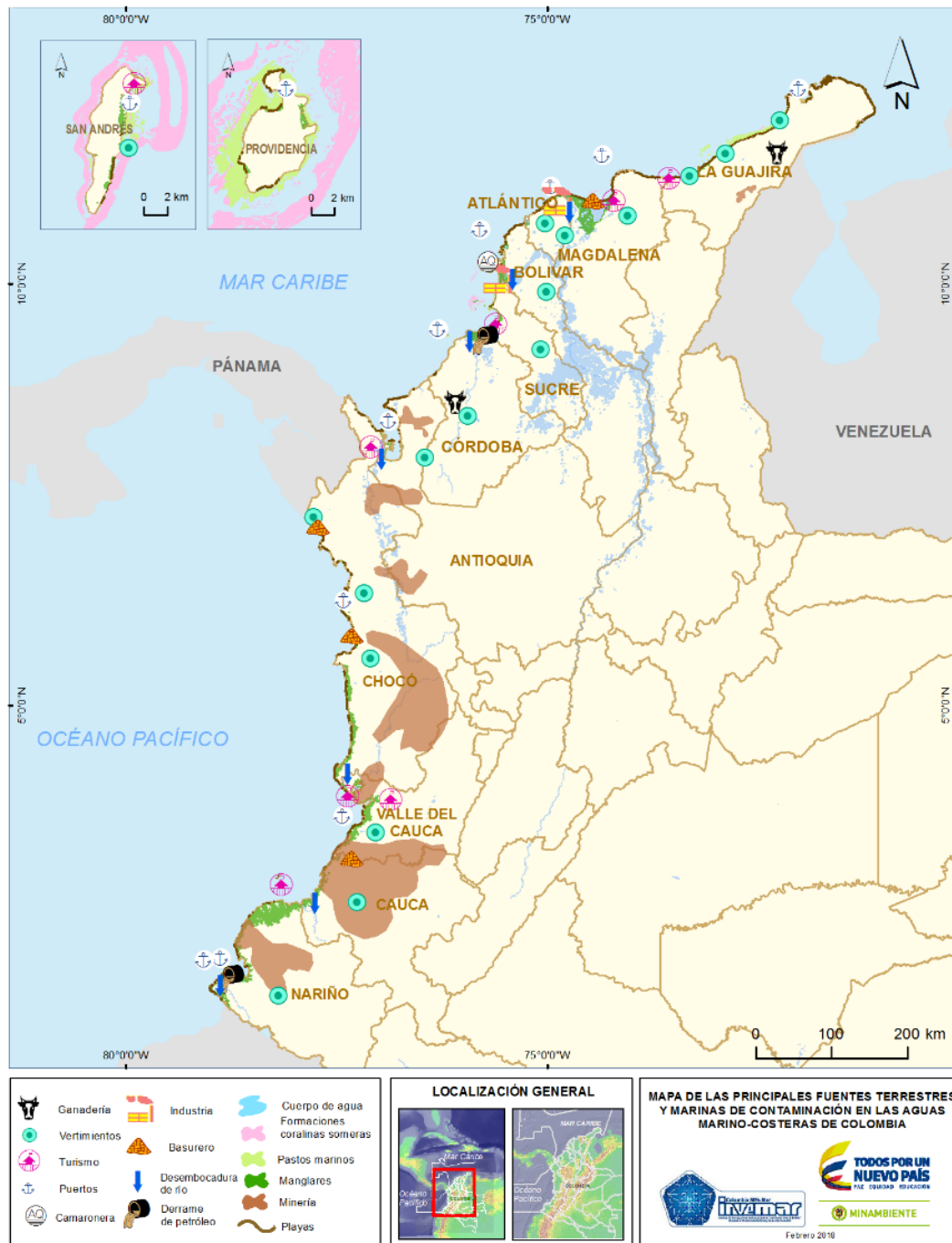


Figura 3-1. Actividades humanas en la zona costera, ecosistemas marinos y costeros y, principales fuentes terrestres y marinas de contaminación a las aguas marinas y costeras de Colombia. Tomado de [INVEMAR \(2018a\)](#).

En el análisis histórico entre 2001 y 2019 se observaron cambios constantes en la calidad del agua marina y costera con una alta variabilidad en los valores del ICAM_{PFF}, presentándose concentraciones entre una pésima y óptima calidad con un promedio de resultados entre 66,67 ±20,09 % (INVEMAR, 2021). Se presentaron diferencias entre las cinco categorías (Prueba de Kruskal Wallis, H=3295,27; p=<0,0001), que mostraron 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 3-2). El balance histórico nacional hasta el año 2019 mostró que el 5% de los sitios de muestreo presentaron óptima calidad del agua, 51% fue adecuada, 21% aceptable, 20% inadecuada y el 4% pésima calidad para la preservación de flora y fauna.

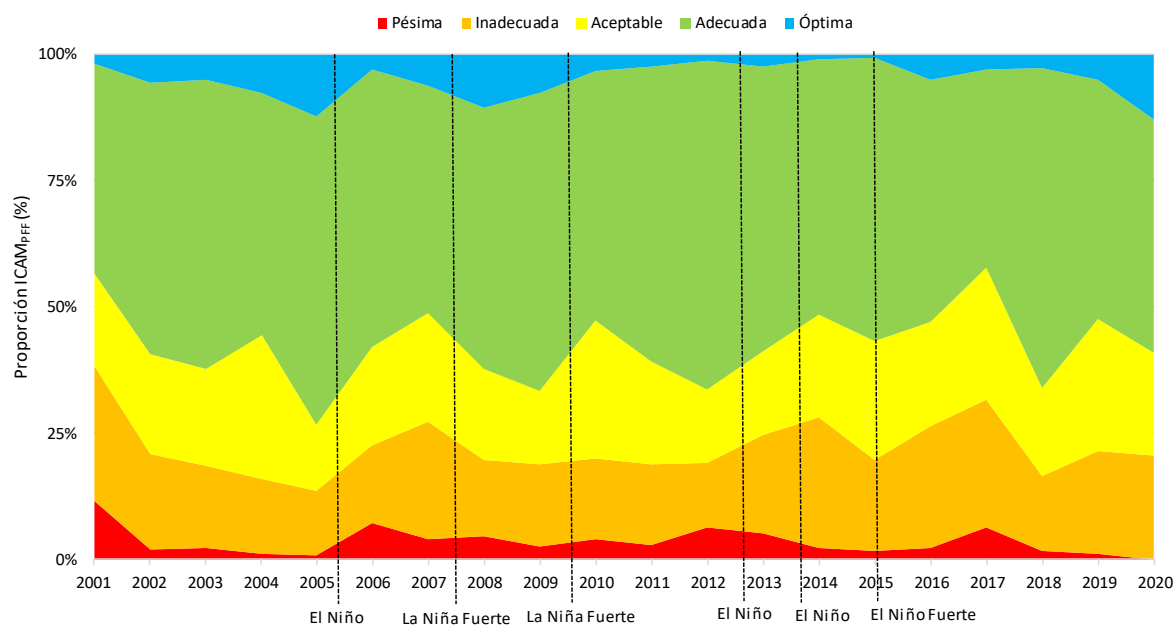


Figura 3-2. Evolución histórica del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PFF}) en el periodo 2001 a 2020. Las líneas transversales negras indican años con una incidencia del evento El Niño y La Niña según NOAA (2020).

Entre los años 2001 y principios de 2005 se mantuvo un incremento progresivo de las estaciones con óptima calidad que alcanzó un 16 %, un 50% con calidad adecuada y tan solo 1% en categoría pésima en el 2005 (Figura 3-2). Sin embargo, en el año 2006, las condiciones cambiaron, aumentando hasta un 7% los sitios de pésima calidad y disminuyendo las estaciones con calidad adecuada y óptima. Entre los años 2007 y 2014, fue notoria la fluctuación en las categorías de calidad del agua marina (Figura 3-2), asociado a las variaciones climáticas, como las lluvias excesivas que se presentaron en el centro de la región Pacífico y norte de la región Caribe, debido a los eventos La Niña de intensidad fuerte del 2007 al 2008 y del 2010 al 2011 (IDEAM, 2017). Estas condiciones de lluvias intensas favorecen los procesos de arrastre por acción de escorrentía de nutrientes, microorganismos, sólidos en suspensión y otras sustancias contaminantes que llegan a la zona costera, bajan la disponibilidad de oxígeno y aumentan la degradación de materia orgánica, deteriorando la calidad del recurso hídrico en algunas estaciones (Vivas-Aguas *et al.*, 2015; INVEMAR, 2019). Entre los años 2012 y 2014 se observó

un leve incremento en la proporción de estaciones en condiciones adecuada y óptima (Figura 3-2).

En el año 2015 (Figura 3-3), las condiciones de calidad estuvieron marcadas por el periodo de sequía más fuerte de los últimos 35 años, producido por la ocurrencia de un evento “El Niño” (IDEAM, 2016a). En este año se presentó una leve mejoría en la calidad del agua, con el aumento de estaciones en condiciones favorables (57% categorías óptima y adecuada), sin embargo, se mantuvo alta la proporción de calidad desfavorable (20% categorías inadecuada y pésima) y de forma recurrente, en algunas estaciones del Caribe condiciones de pésima calidad (Figura 3-3). En el Pacífico, no se presentaron condiciones de pésima calidad pero se registraron condiciones inadecuadas en los departamentos del Valle del Cauca (frente al muelle de Juanchaco), Cauca (bocana Timbiquí y frente a Micay) y en Nariño (frente a ríos y en las playas de Bocagrande, El Morro, Mosquera y Pasacaballos) (Figura 3-3), condiciones que se atribuyen a las altas concentraciones de Coliformes Termotolerantes, ortofosfatos y sólidos suspendidos totales.

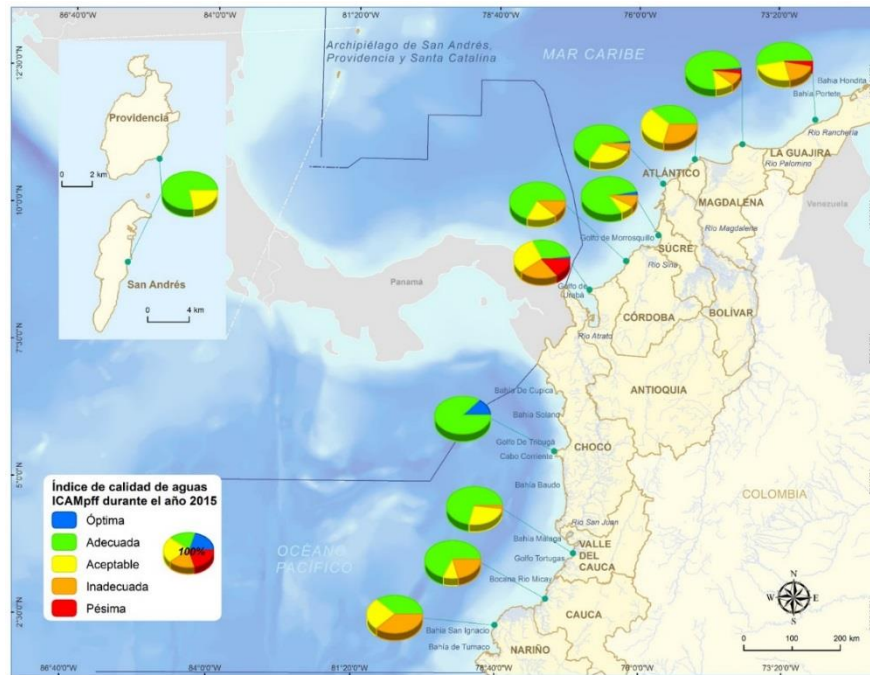


Figura 3-3. Resultados de la aplicación del ICAMPF para los muestreos del año 2015. Tomado de INVEMAR (2017b)

Entre el 2016 y 2017 disminuyeron los sitios con calidad adecuada (48% y 39%, respectivamente) e incrementaron los sitios con pésima calidad (2% y 6%, respectivamente), indicando un deterioro de las características del agua superficial marina y costera. Las peores condiciones se observaron en los departamentos de La Guajira, Magdalena, Sucre, Bolívar y Antioquia (Figura 3-4), en estaciones cercanas a la descarga de aguas residuales domésticas y a los basureros, donde se registraron altas concentraciones de nutrientes (fosfatos y nitratos), Coliformes Termotolerantes y sólidos suspendidos totales, los cuales afectaron la calidad del agua (Garcés-Ordóñez et al., 2016). Mientras que, en el Pacífico, los departamentos Valle del

Cauca y Nariño, presentaron recurrentes condiciones entre inadecuadas y pésimas (Figura 3-4) en las estaciones ubicadas en los esteros y ríos como el Anchicayá y Potedó (Buenaventura, Valle del Cauca) y en el estero los Tulacios (Tumaco, Nariño). Cabe destacar que, dichos efectos sobre el recurso hídrico aumentaron durante el segundo semestre del año 2016, época en la que se produjo un incremento de las precipitaciones, con el consecuente aumento de la escorrentía, derivadas del debilitamiento de El Niño (GGWeather, 2018; IDEAM, 2016a) y que luego se consolidó en La Niña débil de 2017 (IDEAM, 2017).

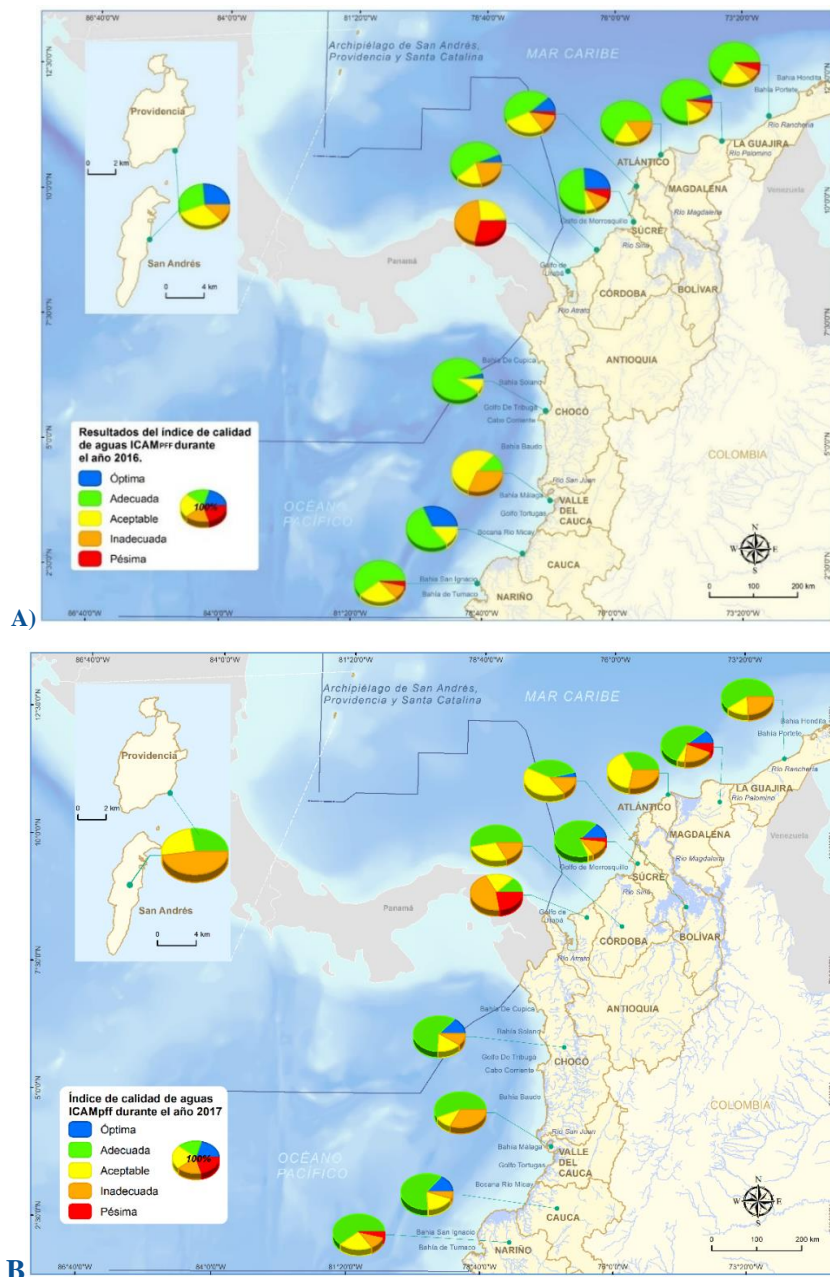


Figura 3-4. Representación de las categorías del índice de calidad de aguas marinas y costeras obtenidas en el 2016 (A) y 2017 (B) en los departamentos costeros de los litorales Caribe y Pacífico colombianos.

En el año 2018 se presentó una mayor proporción estaciones con ICAM_{PF} favorables (66% categorías óptima y adecuada) en comparación con el 2019 (52%), cuando se incrementaron a 21% los sitios con aguas de características menos favorables (pésimas e inadecuadas), particularmente en los departamentos del Atlántico, Córdoba y Antioquia en el Caribe y Chocó en el Pacífico (Figura 3-5). Las variables que contribuyeron en estas bajas condiciones de calidad fueron los nitratos, Coliformes Termotolerantes, sólidos suspendidos totales y oxígeno disuelto que estuvieron en valores pésimos, que resultaron en categorías del ICAM_{PF} poco favorables.

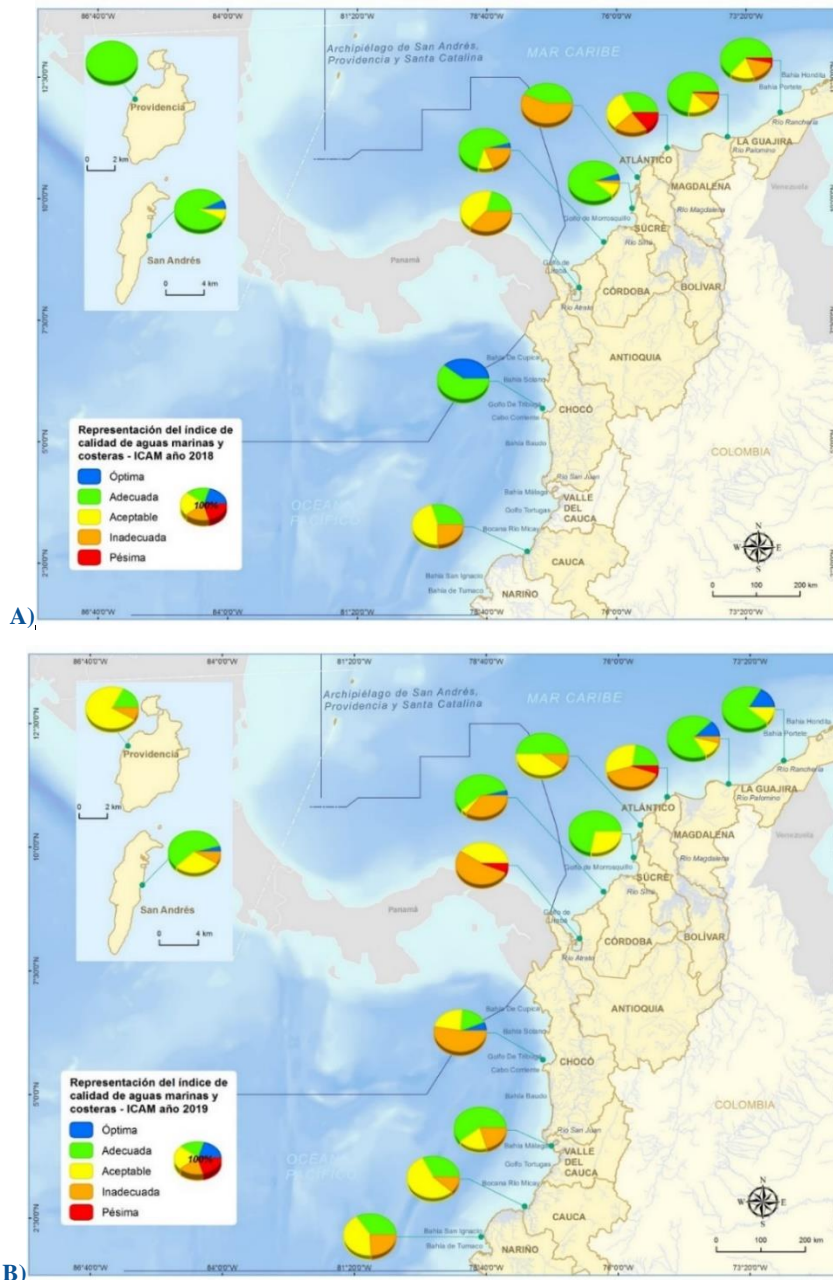


Figura 3-5. Representación de las categorías del índice de calidad de aguas marinas y costeras obtenidas en el 2018 (A) y 2019 (B) en los departamentos costeros de los litorales Caribe y Pacífico colombianos. Tomado de [INVEMAR \(2020\)](#).

Teniendo en cuenta que durante el año 2020 se produjo una reducción del desarrollo de actividades socioeconómicas debido a las restricciones por la pandemia por COVID-19, los resultados del ICAM_{PFF} en San Andrés Islas, Magdalena y Córdoba reflejaron una mejoría de las condiciones de calidad durante la cuarentena estricta y selectiva de la población. En estaciones como muelle Cabotaje (calle 10) en Magdalena, se observó una mejora de la calidad del agua (Figura 3-6), resultado que se puede atribuir a la disminución de gran parte de las actividades productivas que generan aguas residuales y presión sobre el ambiente marino y costero. En San Andrés Islas, La Guajira y Magdalena, se registraron condiciones adecuadas durante el confinamiento, ya que los nutrientes inorgánicos disueltos, los indicadores microbiológicos y los sólidos suspendidos totales, estuvieron en niveles favorables para la preservación de la fauna y flora marina, lo cual se reflejó en un efecto positivo en las condiciones ambientales del agua marina, debido probablemente a la disminución en la presión de las actividades económicas y turísticas (Figura 3-6). En Córdoba, a pesar de encontrar condiciones adecuadas del ICAM_{PFF} en Puerto Escondido, los Coliformes Termotolerantes tuvieron condiciones pésimas al presentar una concentración de 160.000 NMP/100mL. Este resultado indica que a pesar de estar en una medida de confinamiento selectivo por la emergencia COVID-19, persiste la contaminación por descargas de aguas residuales sin tratamiento previo (infiltraciones de pozos sépticos, escorrentías y vertimientos directos), lo cual aumentó debido a los efectos del evento La Niña que se desarrolló entre agosto y septiembre 2020 ([IDEAM, 2020](#)).

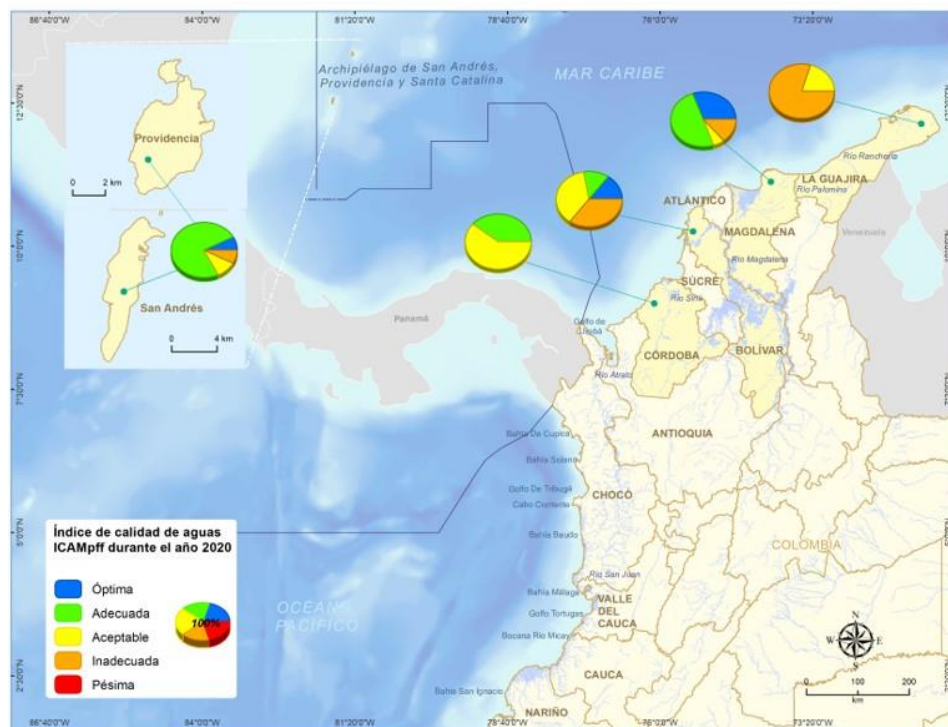


Figura 3-6. Representación de las categorías del índice de calidad de aguas marinas y costeras estimado en los departamentos costeros de Colombia en el año 2020 durante la Pandemia del Covid-19. Tomado de: Vivas-Aguas *et al* 2021.

En el año 2021, los resultados del ICAM evidencian un deterioro de la calidad del agua para la preservación de flora y fauna en los departamentos de Magdalena, La Guajira, Bolívar, Córdoba y Nariño; atribuido en su mayoría a la presencia de altas concentraciones de Coliformes Termotolerantes y nutrientes inorgánicos disueltos. Lo cual, podría responder a vertimientos de aguas residuales y otras fuentes de contaminación asociadas al aumento de las actividades socioeconómicas como las recreativas de sol y playa. En el departamento de Córdoba, en el muestreo del mes de mayo, predominaron las aguas con calidad adecuada, sin embargo, se presentaron condiciones inadecuadas en las estaciones frente Tinajones y Ciénaga la Soledad, como se ha registrado históricamente; y en el mes de septiembre, con el aumento de las precipitaciones, se observó un deterioro de la calidad del agua en la estación Puerto Escondido, pasando de calidad adecuada en mayo a condición inadecuada en septiembre. Resultado que evidencia la incidencia en los efectos de los procesos de escorrentía, donde se aumentan las descargas de residuos líquidos y sólidos.

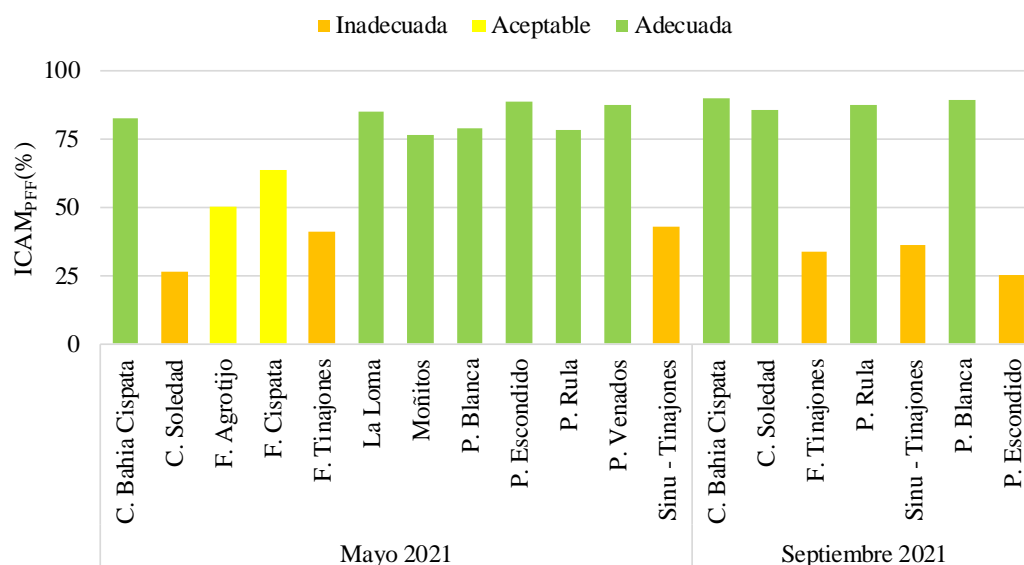


Figura 3-7. Calidad del agua estimada con el ICAM_{PFF} en el departamento de Córdoba en el año 2021

En departamentos como Magdalena, durante la época lluviosa, se produjo un incremento de condiciones pésima e inadecuadas de la calidad del agua superficial. En esta época, disminuyeron los porcentajes de estaciones con calidad aceptable (14 %), óptima (10 %), y un 33% en condición adecuada.

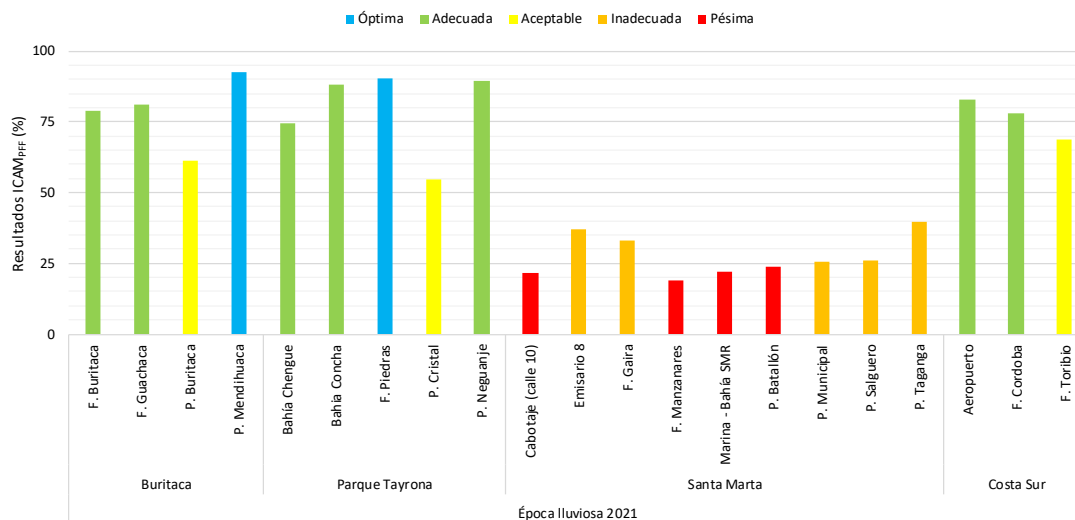


Figura 3-8. Calidad de las aguas marinas y estuarinas de las estaciones REDCAM de Magdalena, en el muestreo realizado unos días del mes de agosto, septiembre y octubre 2021, evaluada con el ICAM.

En el monitoreo realizado en el mes de octubre 2021 en Nariño, predominaron las aguas con calidad adecuada; sin embargo, se presentaron condiciones inadecuadas en las estaciones playa Bocagrande y puente el Pindo, como ha sido latendencia histórica de esta última estación.

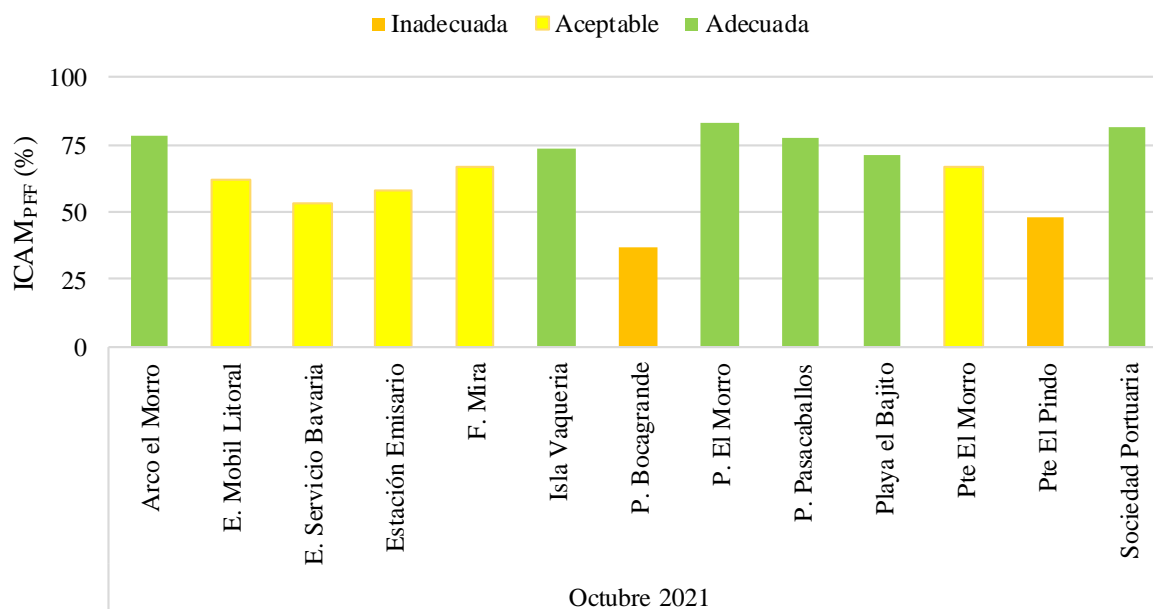


Figura 3-9. Calidad del agua estimada con el ICAM en el departamento de Nariño en el año 2021

Los resultados del ICAM_{PFF}, evidencian que se requieren medidas de gestión para la reducción de los efectos de las fuentes de contaminación que generan presiones sobre los recursos hídricos marinos y costeros, en particular, se deben fortalecer los sistemas de saneamiento básico y mejorar su funcionamiento.

CAPÍTULOS DEPARTAMENTALES



Actividades de monitoreo REDCAM en campo y análisis en LABCAM . Foto: Archivo programa CAM

4. DEPARTAMENTO ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA

El departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (SAI) se ubica en el Caribe insular colombiano, tiene dos municipios: isla San Andrés e islas Providencia y Santa Catalina. La población humana en estas islas al 2020 fue de ~63.692 habitantes (DANE, 2021). En el departamento SAI se encuentran praderas de pastos marinos, manglares, cayos, bosque seco tropical y la mayor cobertura de arrecifes de coral (CORALINA e INVEMAR, 2012), con una alta biodiversidad, por lo cual ha sido declarada Reserva Biósfera Seaflower, la séptima área marina protegida más grande del mundo y la más grande del Caribe (Castaño-Isaza et al., 2015).

La mayor parte del Archipiélago presenta un modelo de desarrollo basado principalmente en el comercio y el turismo, reportándose para el 2019 la visita de 98.603 turistas (CITUR, 2020). Esta actividad es una importante fuente de residuos contaminantes, además de los residuos de las actividades domésticas, portuarias y pesqueras, que generan vertimientos de aguas residuales y residuos sólidos dispuestos en los rellenos sanitarios Magic Garden (San Andrés), Blue Lizard (Providencia) y en el ambiente (Figura 4-1) (INVEMAR, 2018a).

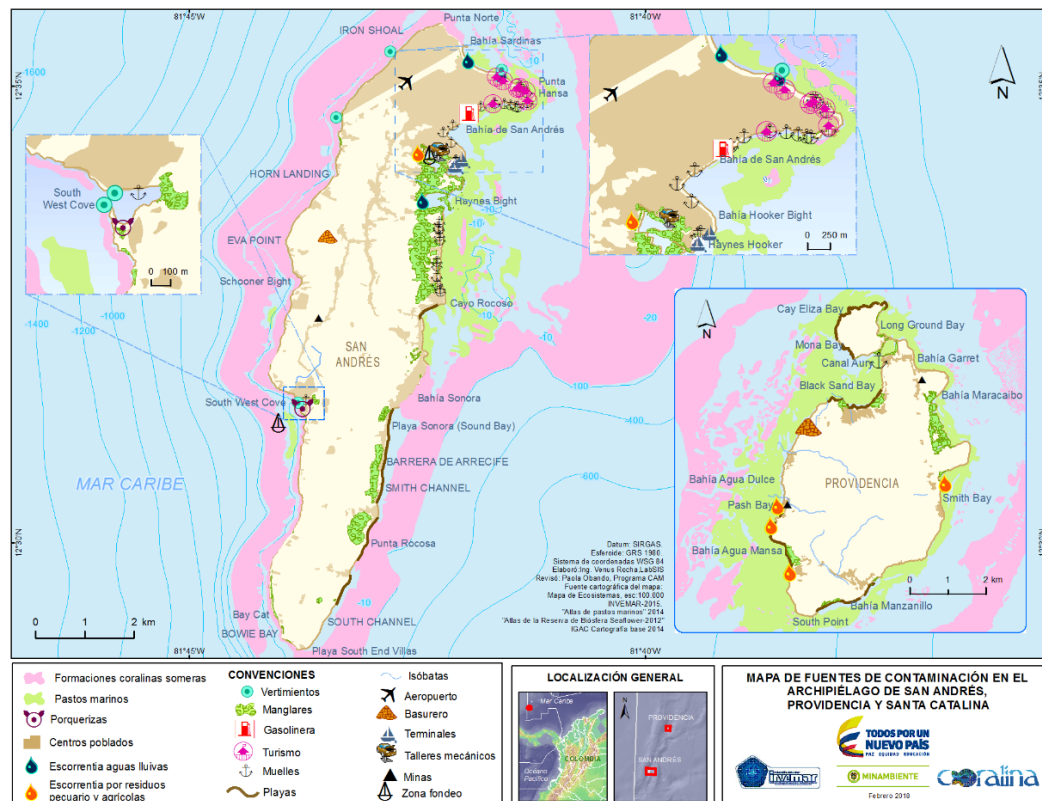


Figura 4-1. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano.

Desde el 2001, el monitoreo de la calidad del agua marina y costera en el departamento es realizado por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina –CORALINA, con el apoyo del INVEMAR; y en el año 2019 se dio inicio al monitoreo de calidad de sedimentos en las estaciones bahía el Cove en la Isla de San Andrés y en el muelle Santa Isabel en la Isla de Providencia. En el año 2020, a pesar de las restricciones decretadas por el Gobierno Nacional para prevenir el contagio y propagación de la COVID-19, la Corporación realizó un monitoreo el 24 de noviembre en la isla de San Andrés y el 20 de diciembre en la isla de Providencia. Además, en el año 2021, INVEMAR y CORALINA llevaron a cabo el muestreo en las 29 estaciones de monitoreo activas, colectando información para la estimación del ICAM.

En el departamento SAI, la REDCAM cuenta con 25 estaciones de muestreo históricas y desde el año 2020 se incluyeron 4 nuevas estaciones ubicadas en el cayo Haynes en la Isla de San Andrés, en la zona de descarga de la PTAR entre las islas de Providencia y Santa Catalina, para un total de 29 estaciones de monitoreo activas, las cuales están distribuidas en tres zonas, la **zona San Andrés Norte** donde se concentra la mayor población y desarrollo turístico, por las extensas playas y arrecifes de coral; la **zona San Andrés Sur** que es el área donde predominan las actividades de buceo, transporte marítimo y se ubica el relleno sanitario “Magic Garden”; y la **zona Providencia** que abarca las islas de Providencia y Santa Catalina (Figura 4-2).

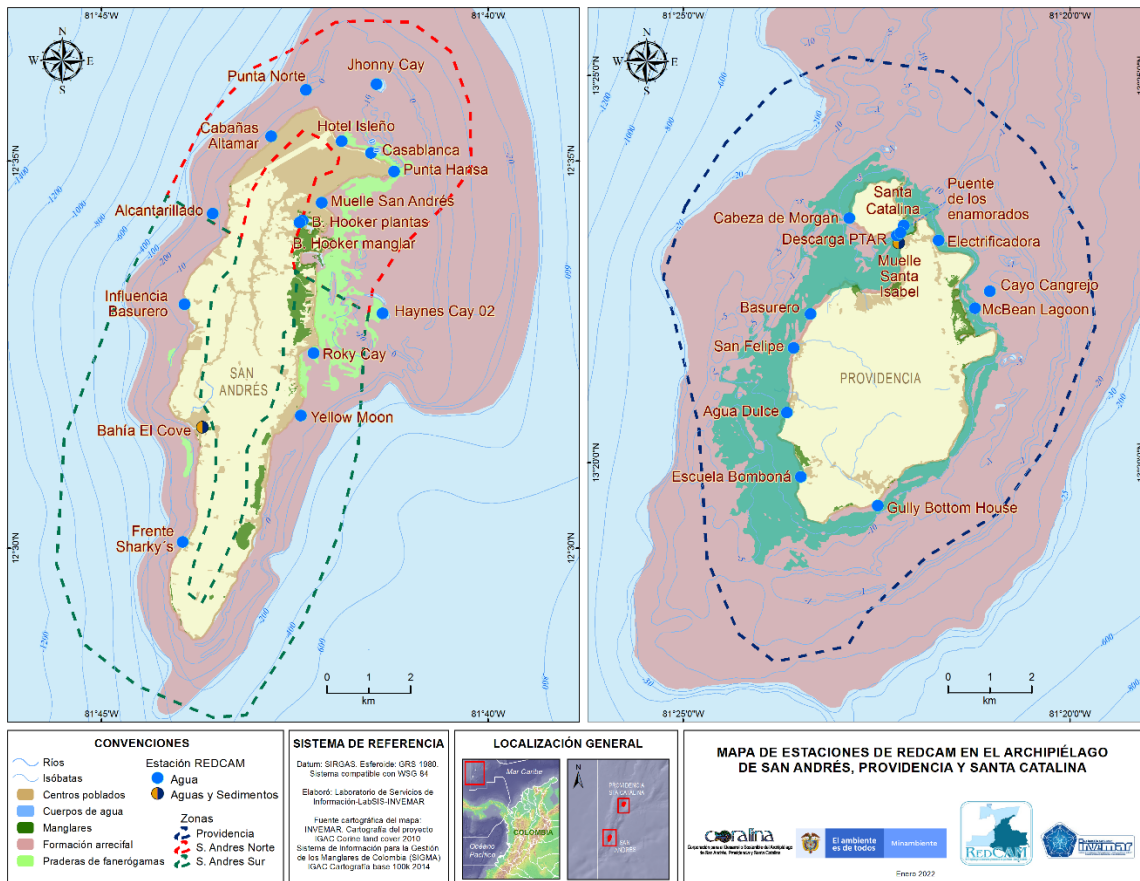


Figura 4-2. Mapa de estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y los puntos bicolors (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimentos superficiales. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

4.1 CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS

4.1.1 Calidad de agua para la preservación de flora y fauna

Considerando la clasificación de las aguas por los valores de salinidad propuesta por [Knox \(2001\)](#);Figura 4-3), se determinó que el 93 % de estaciones REDCAM en el departamento SAI corresponden a aguas marinas y solo el 7 % a aguas estuarina, dos estaciones en bahía Hooker (Old Point) en la Isla de San Andrés. El análisis histórico muestra que las medianas del primer semestre (36,10 unidades) son mayores que las del segundo semestre (35,92 unidades; Figura 4-3). Este comportamiento se encuentra relacionado con la dinámica oceanográfica que domina en el Caribe colombiano, caracterizada por presentar los valores más altos de salinidad en el mes de julio y los más bajos en octubre, cuando se presentan las mayores precipitaciones para todo el Caribe colombiano, y los aportes de origen continental (como la descarga del río Magdalena) ejercen influencia sobre la formación de una lengua homogénea (gradiente zonal) de baja salinidad que ocupa el este y el sureste del Caribe ([Ricaurte-Villota y Bastidas-Salamanca, 2017](#)).

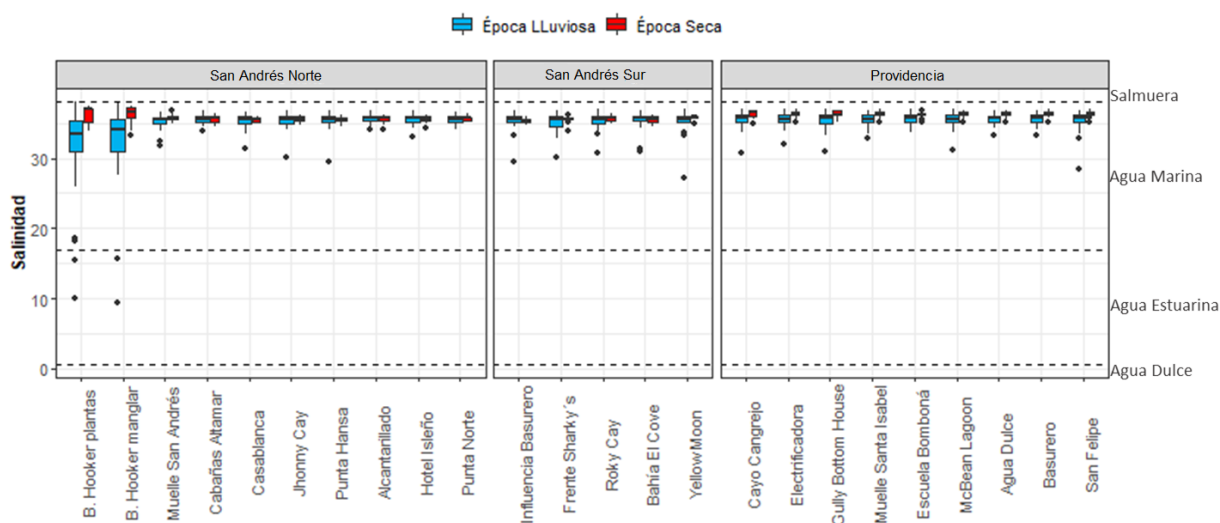


Figura 4-3. Gráfico de caja de la variación histórica (2001-2020) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de 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 \(2001\)](#).

La evolución histórica del estado la calidad de las aguas se evaluó aplicando el Índice de Calidad de Aguas para Preservación de flora y fauna - $ICAM_{PFF}$ ([Vivas-Aguas et al., 2014](#)) a nivel de estaciones (Figura 4-4). Históricamente el $ICAM_{PFF}$ se ha reportado para un promedio de 20 estaciones en las cuales se cuenta con el número mínimo de variables requeridas para su estimación.

El cálculo del $ICAM_{PFF}$ en los 20 años de información, ha mostrado una alta variabilidad de la calidad del agua marina y costera, con cambios interanuales (Figura 4-4). En el balance histórico

se observaron condiciones favorables para la preservación de la flora y fauna en el 37,2 % de los resultados, donde el 1,7% obtuvo calidad óptima y el 35,5 % adecuada; además el 35,7 % ha registrado condiciones aceptables. Mientras que el 23,6 % ha registrado condición inadecuada y el 3,5 % calidad pésima.

En el análisis histórico detallado para las estaciones en la Isla de San Andrés se observa la recurrencia de calidad inadecuada de las estaciones Alcantarillado, Bahía el Cove, Muelle, Influencia basurero y Punta Norte, en la isla de San Andrés; y en las estaciones Agua dulce, electrificadora y muelle Santa Isabel en las Islas de Providencia y Santa Catalina (Figura 4-4 y Figura 4-5). La condición de calidad inadecuada en la Isla de San Andrés, en particular en la estación Influencia basurero, ha estado determinada por las altas concentraciones de nitratos (Figura 4-5), con concentraciones por encima del valor límite permisible (50 µg/L) para asegurar la vida marina propuesto por la [ASEAN \(2008\)](#). El incremento de este nutriente, se asocian a los aportes de lixiviados del basurero a cielo abierto, especialmente en el segundo semestre del año, cuando aumentan las precipitaciones y como consecuencia aumenta la escorrentía, produciendo un mayor arrastre de los nutrientes hacia la zona costera. En las Islas de Providencia y Santa Catalina se destaca la estación Muelle Santa Isabel, donde se ha presentado una mayor dispersión de las concentraciones de nitratos con respecto a las demás estaciones de la zona (Figura 4-5). En esta estación, la mitad de las mediciones históricas de nitratos se encuentran por encima del valor de referencia para asegurar la vida marina ([ASEAN, 2008](#)).

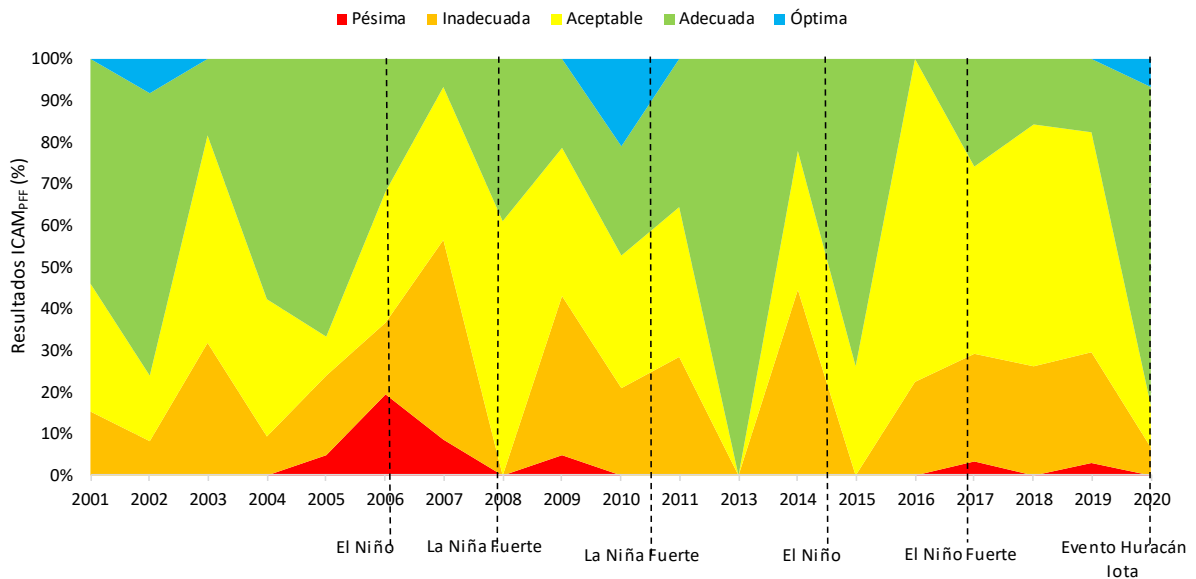


Figura 4-4. Evolución histórica del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PFF}) en el periodo 2001 a 2020 en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Las líneas transversales negras indican años con una incidencia del evento El Niño y La Niña, y el Huracán Iota ocurrido en el año 2020 [NOAA \(2020\)](#).

Para el año 2020, la estimación del ICAM_{PFF}, se realizó con la información de los muestreos realizados por CORALINA el 14 de abril 2020 en estaciones de la Isla de San Andrés en el período de cuarentena con aislamiento obligatorio por la Pandemia del Covid-19, y en muestreos realizados el 24 de noviembre de 2020 en las estaciones de la Isla de San Andrés y el 20 de diciembre 2020 en las islas de Providencia y Santa Catalina tras el paso del huracán Iota.

En el mes de abril, predominaron las aguas con calidad adecuada en un 77% de las estaciones, y las características óptimas para la preservación de la flora y la fauna marina se presentaron en Casablanca y Hotel Isleño. Resultados que evidencian un efecto positivo en las condiciones ambientales del agua marina, debido probablemente a la disminución en la presión de las actividades económicas y turísticas que se desarrollan en la Isla. En el mes de noviembre, solo en la estación bahía Hooker plantas (Old Point) en la Isla de San Andrés, se observó una disminución de calidad hasta la categoría aceptable que se atribuye a las concentraciones de nitratos y Coliformes Termotolerantes. En Providencia; la calidad del agua se vio afectada, con condiciones inadecuadas en las estaciones donde se ubicaba el basurero y el muelle de Santa Isabel, y la calidad aceptable se presentó en la Escuela Bomboná y San Felipe, resultados que se deben a las altas concentraciones de Coliformes Termotolerantes (>1600 NMP /100mL) que sobrepasaron el criterio de calidad (>200 NMP/100 mL; MinAmbiente, 2015).

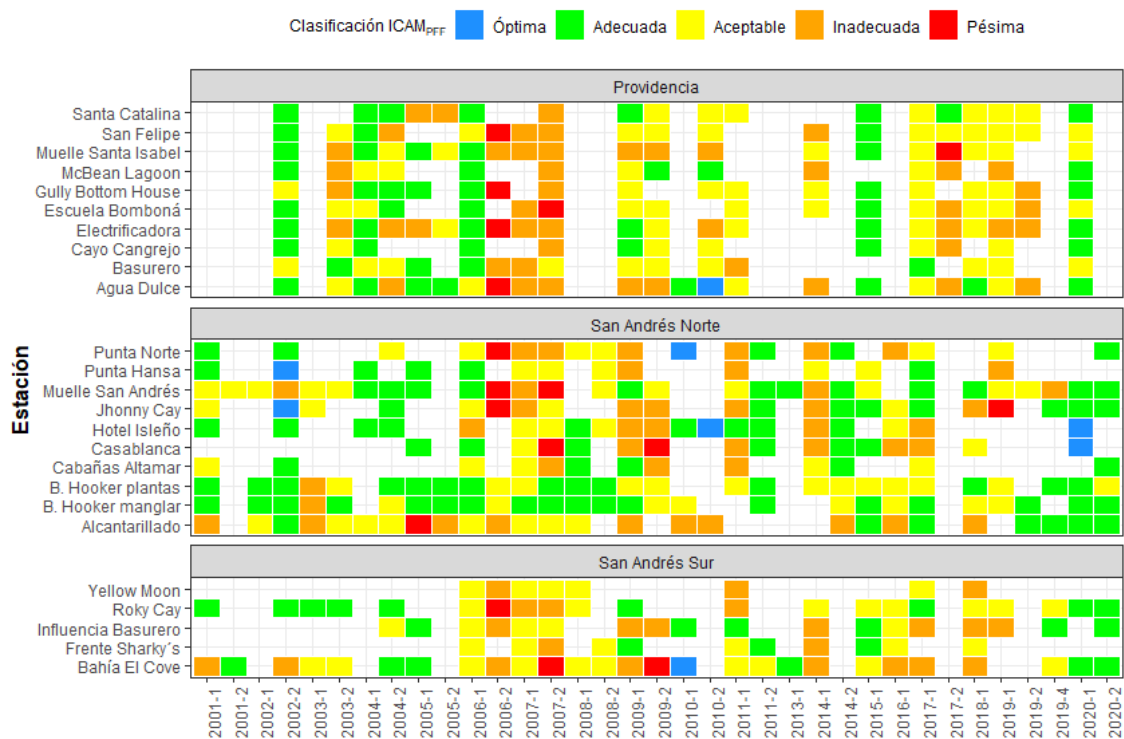


Figura 4-5. Resultados históricos de la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, entre los años 2001 al 2020.

4.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

Los niveles de cumplimiento de la calidad microbiológica de las aguas en las playas turísticas de Punta Hansa, Hotel Isleño, Jhonny Cay, Casa Blanca, Yellow Moon, Haynes Cay y Roky Cay en la Isla de San Andrés; Agua Dulce, Cayo Cangrejo y Santa Catalina en las Islas de Providencia y Santa Catalina (Figura 4-6), se analizaron a partir de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE) (Figura 10-7), contrastados con los valores de referencia de límites permisibles para uso recreativo de contacto primario de <200 NMP/100mL de CTE, <1000 NMP/100mL (MinAmbiente, 2015) y <100 UFC/100mL (Unión Europea, 2006). El análisis histórico de cumplimiento de los indicadores microbiológicos de calidad del agua para el uso recreativo en las playas turísticas, mostró que en términos generales, las mediciones de CTE y CTT en el archipiélago, no sobrepasaron el criterio de calidad para el uso recreativo de contacto primario (natación y buceo; 200 NMP/100mL de CTE y 1.000 NMP/mL de CTT, [MinAmbiente, 2015](#)). Sin embargo, en el año 2012 (Figura 4-6) se presentaron el mayor número de playas con incumplimiento de los criterios de calidad de CTE, CTT y EFE para el uso recreativo, indicando la recurrencia en los aportes de aguas residuales.

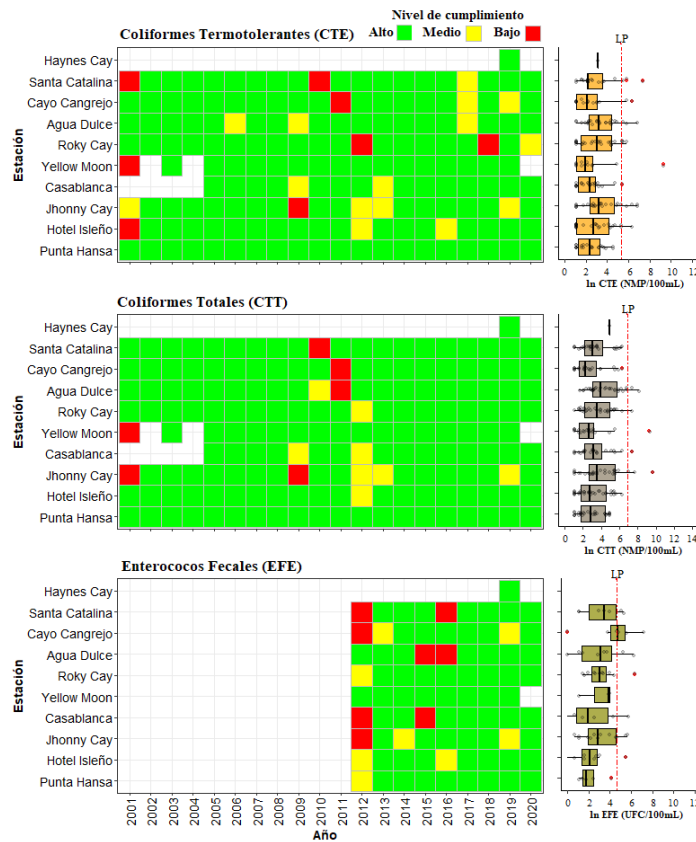


Figura 4-6. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 50 y $< 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Bajo, cuando menos del 50% ($< 50\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. LP: Límite Permissible.

4.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

En los años 2019 y 2020 se midieron metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos y plaguicidas organoclorados y organofosforados en sedimentos de las estaciones bahía el Cove en la Isla de San Andrés, y en el año 2019 en Muelle Santa Isabel en la Isla de Providencia.

En los sedimentos colectados en la bahía el Cove, en el 2019, las concentraciones de cromo (183 µg/g) y cobre (24,3 µg/g) superaron la referencia TEL propuesta por la NOAA (Buchman, 2008); y en el 2020 con concentraciones de mercurio (133 ng/g), cromo (88,8 µg/g) y cobre (30,4 µg/g), superando igualmente los valores de referencia TEL (Tabla 4-1). Este resultado indica que estos metales tienen una baja probabilidad de ser tóxicos y ocasionar efectos adversos en los organismos acuáticos. En el Muelle Santa Isabel, todos los registros de metales fueron inferiores a los niveles de referencia de la NOAA (Buchman, 2008; Tabla 4-1).

En el 2019, los 42 residuos de plaguicidas organoclorados y organofosforados estuvieron por debajo del límite de detección del método usado en el LABCAM. En cuanto a los hidrocarburos se detectó Fenantreno, uno de los hidrocarburos aromáticos policíclicos más tóxicos, en concentraciones de 7,52 ng/g en bahía el Cove y 7,55 ng/g en Muelle de Santa Isabel. Su presencia se debe a la dinámica antrópica por la descarga de residuos de aceites de motor y refinados de petróleo, ya que estas estaciones se ubican en muelles portuarios para de embarcaciones como lanchas, catamaranes y barcos. En el año 2020, en bahía el Cove los 16 compuestos de hidrocarburos aromáticos policíclicos y los 42 compuestos de plaguicidas organoclorados y organofosforados medidos, estuvieron por debajo del límite de detección del método usado en el LABCAM.

Tabla 4-1. Concentraciones de metales pesados en dos estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, medidos en 2019 y 2020. Los valores con el símbolo < indican el límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM del INVEMAR. Las referencias de efectos umbral (TEL) y probables (PEL) para sedimentos marinos fueron tomados de Buchman (2008). Sin valor de referencia (-).

Estación	Cd (µg/g)		Cu (µg/g)		Cr (µg/g)		Fe (mg/g)		Hg (ng/g)		Ni (µg/g)		Pb (µg/g)		Zn (µg/g)	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Bahía el Cove	<12,5	<12,5	24,3	30,4	183	88,8	29,2	23,1	121	133	<75	<75	<15	<15	83,8	77,9
Muelle Santa Isabel	<12,5	-	10,9	-	<25	-	1,55	-	50,6	-	<75	-	<15	-	17,4	-
Ref. TEL	-	-	18,7	-	52,3	-	-	-	130	-	16	-	30,2	-	124	-
Ref. PEL	-	-	108	-	160	-	-	-	700	-	43	-	112	-	271	-

4.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ El análisis histórico del ICAM_{PPF} por estaciones, mostró la recurrencia en condiciones inadecuadas para las estaciones Alcantarillado, Bahía el Cove, Muelle San Andrés, Influencia basurero y Punta Norte, en la Isla de San Andrés; y en Agua dulce, electrificadora y muelle Santa Isabel, en las Islas de Providencia y Santa Catalina, condiciones que se intensificaron durante los años La Niña, debido al incremento de las precipitaciones que favorecen el transporte de residuos líquidos y sólidos que son descargados y transportados por los Gully (arroyos intermitentes) y las escorrentías que descargan en las aguas marinas y costeras del Archipiélago.
- ❖ Los niveles de cumplimiento de la calidad microbiológica de las playas de interés turístico han sido favorables en los últimos años, solo en 2012 se presentó la mayor incidencia de niveles de incumplimiento para uso recreativo.
- ❖ En los sedimentos colectados en el 2019 en la bahía el Cove, en la isla de San Andrés, se encontraron trazas de mercurio y cromo, y el hidrocarburo aromático policíclico Fenantreno. Estos resultados, sugieren la necesidad de hacer una evaluación más detallada de la dinámica antropogénica que permita determinar su origen y posible impacto en los ecosistemas y los efectos al interactuar con la columna de agua.

5. DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA

El departamento de La Guajira se ubica en el Caribe colombiano. Su zona costera se subdivide en tres subregiones: alta, media y baja Guajira, cada una con características paisajísticas y socioeconómicas propias ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#)).

La **alta Guajira** que corresponde a la sección norte del departamento, abarca los municipios Uribia y Manaure, donde se desarrollan actividades portuarias para la exportación de carbón y la importación de mercancías en los puertos Bolívar y Nuevo, además se realizan actividades de ganadería de caprino, explotación de sal, pesca y turismo; en esta zona predominan las condiciones semiáridas y áridas, donde las lluvias son escasas ([IDEAM, 2021](#)). En la **Guajira media**, que corresponde a la sección con mayor influencia de poblaciones urbanas, se encuentra el municipio de Riohacha, desembocan el río Ranchería, uno de los más importantes del departamento y cuatro ríos al sur que circulan por áreas agrícolas, ganaderas y mineras, facilitando el transporte e introducción de contaminantes de la cuenca alta al mar Caribe ([CORPOGUAJIRA-INVEMAR, 2012](#); [INVEMAR, 2017](#)). Y la **Guajira baja**, ubicada en la vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, corresponde al área de mayor precipitación en el departamento en la cual se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas; en esta zona se encuentran las playas turísticas de Dibulla y Camarones y las desembocaduras de los ríos Palomino, Cañas y Jerez. y la ([INVEMAR, 2020](#)). La media y baja Guajira se encuentra influenciada por la Sierra Nevada de Santa Marta ([IDEAM, 2021](#))

De acuerdo con 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 ([DANE, 2021](#)). En este territorio se encuentran ecosistemas de playas, manglares, arrecifes coralinos, lagunas costeras y las mayores coberturas de pastos marinos del país ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#)).

Las principales actividades fuentes de contaminantes son la minería (especialmente de carbón), los residuos de la población (aguas residuales y residuos sólidos) de los municipios de Uribia, Manaure, Riohacha y Dibulla, la actividad marítima portuaria y el turismo (Figura 5-1, [Vivas-Aguas et al. 2012](#)).

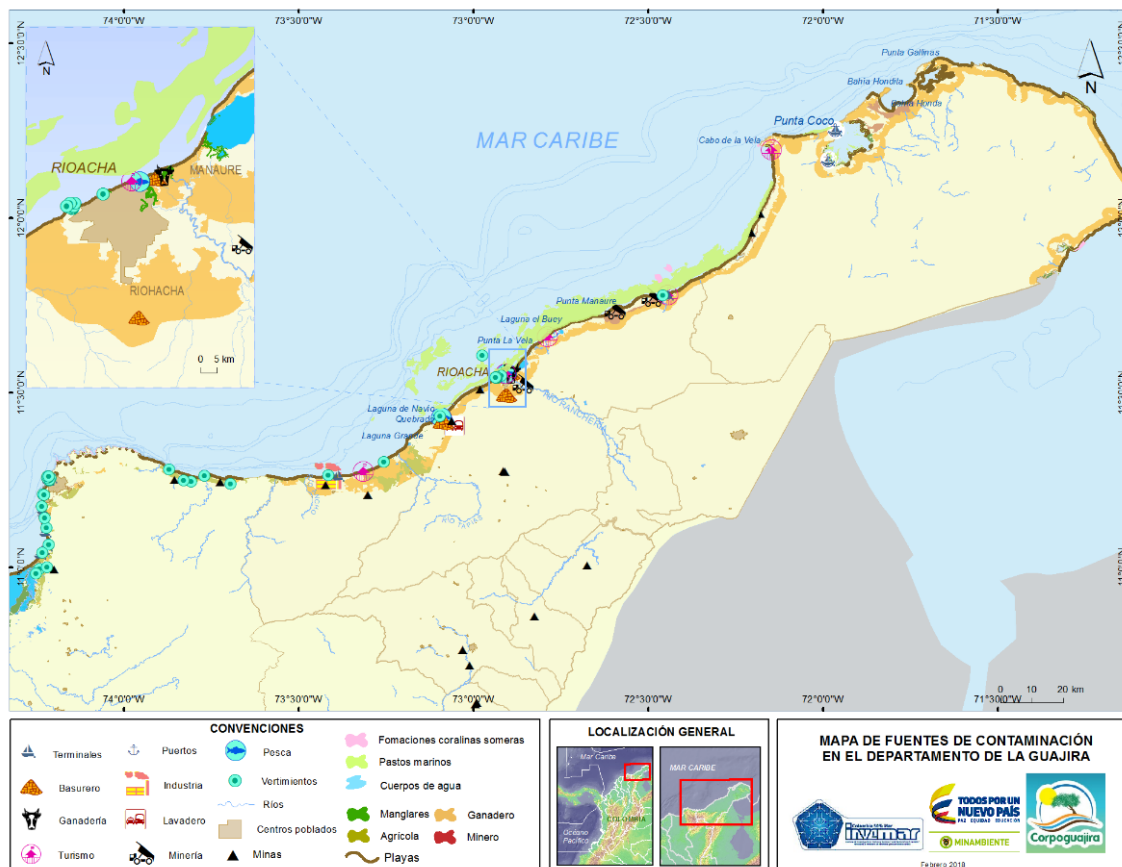


Figura 5-1. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de La Guajira, Caribe colombiano.

En el departamento de La Guajira, la REDCAM cuenta con 29 estaciones distribuidas en las tres zonas (Figura 5-2).

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. En el año 2020, se realizó un muestreo entre los días 11 y 13 de febrero, antes de decretarse el aislamiento obligatorio para reventar el contagio y propagación de la COVID-19; y durante el aislamiento preventivo, el 27 de mayo de 2020, se realizó un muestreo en tres playas donde se presentaban con mayor frecuencia condiciones de calidad del desfavorable. En el año 2021 se realizaron dos campañas de muestreo, una en marzo, en el marco de los compromisos del INVEMAR para la generación del reporte nacional del ICAM y la otra en octubre, en el marco del convenio REDCAM suscrito entre CORPOGUAJIRA y el INVEMAR, donde se colectaron muestras de agua, sedimento, y basura marina y microplásticos en la estación playa Palomino. El presente reporte contiene información del comportamiento de la calidad del agua desde 2001 hasta 2021.

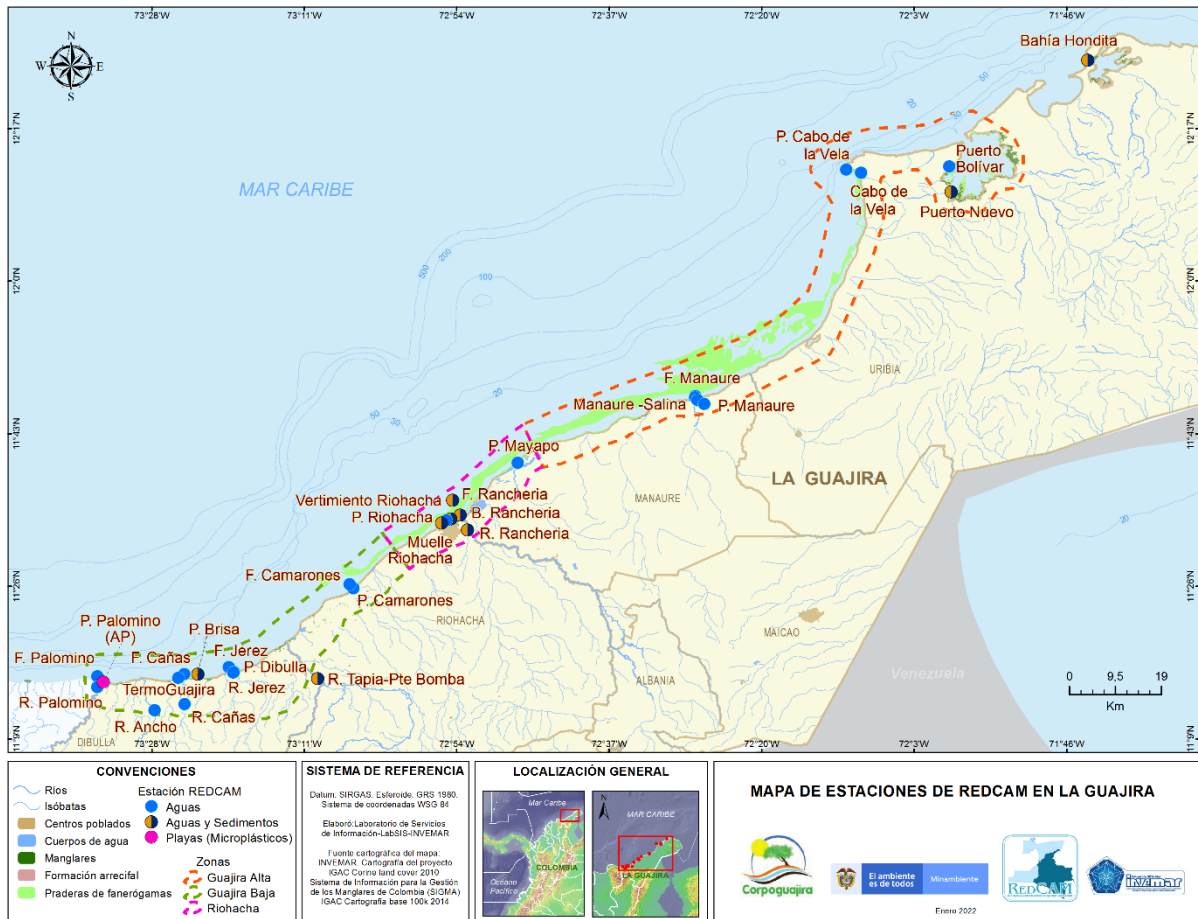


Figura 5-2. Mapa con las estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento de La Guajira. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y los puntos bicolores (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimento, y el punto fucsia corresponde a la estación en playa Palomino de medición de microplásticos en arena de playa. Los polígonos punteados enmarcan las zonas de muestreo.

5.1 CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS

5.1.1 Calidad del agua para la preservación de flora y fauna

Los registros históricos de salinidad del agua en las estaciones REDCAM del departamento, usando como referencia los rangos de salinidad descritos por Knox (2001), permitieron clasificar los tipos de agua monitoreados (marina, estuarina y dulce) (Figura 5-3). De las 29 estaciones de monitoreo, el 79,3% se clasificaron como agua marina, 3,5% como estuarina y 17,2% como agua dulce. Los valores de salinidad tuvieron mayor rango de variación en la época lluviosa, por el incremento del aporte de agua dulce. En la época seca, la estación río Ranchería se clasifica como agua estuarina (salobre), debido a que la mediana de salinidad estuvo por encima de cero (Figura 5-3), debido a que en esta época, el caudal del río se reduce, la boca del río se cierra y se estanca el agua de intrusión de la cuña salina. Las estaciones de agua dulce se ubican en los ríos monitoreados.

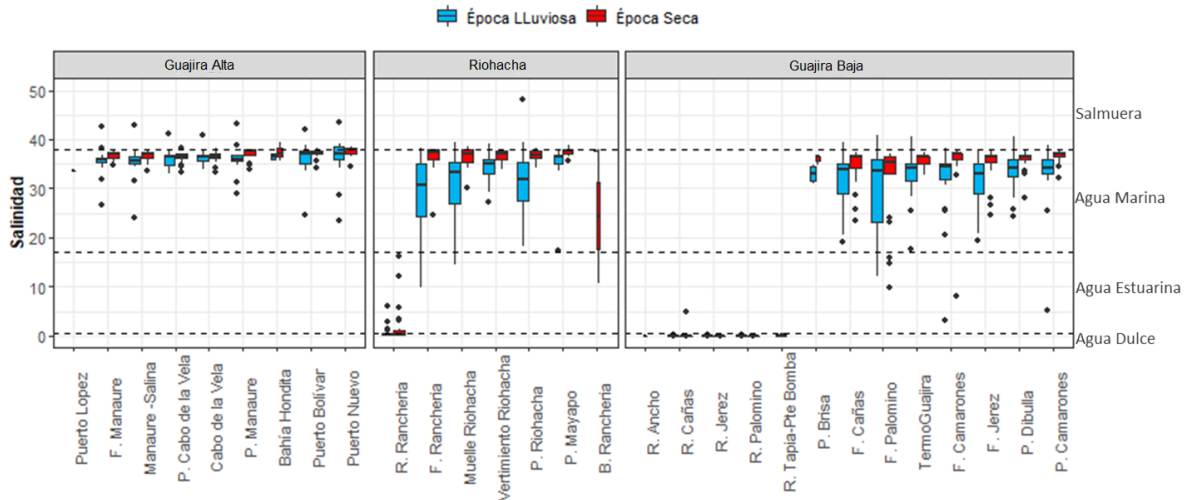


Figura 5-3. Gráfico de caja de la variación histórica (2001-2020) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana 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 cálculo del ICAM_{PFF} en los 21 años de información, ha mostrado una alta variabilidad de la calidad del agua marina y costera, con cambios interanuales (Figura 5-4). En el balance histórico se observaron condiciones favorables para la preservación de la flora y fauna en el 52,9 % de los resultados, donde el 5,3 % obtuvo calidad óptima y el 47,6 % adecuada; sin embargo, se han presentado condiciones inadecuadas en el 23,0 % y 6,5 % calidad pésima.

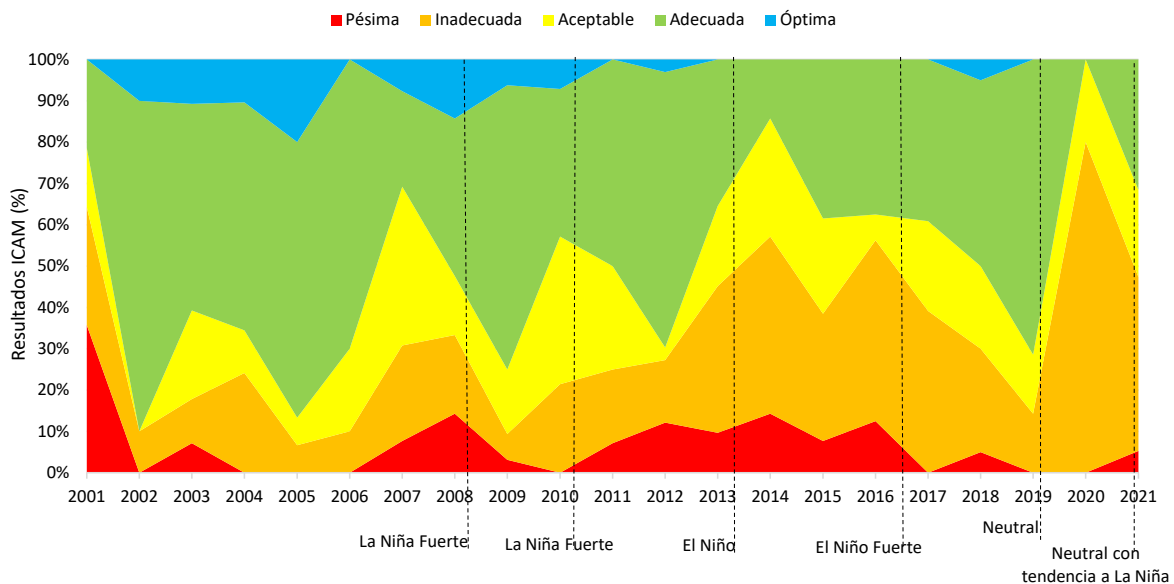


Figura 5-4. Evolución histórica del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PFF}) en el periodo 2001 a 2021 en el departamento La Guajira. Las líneas transversales negras indican años con una incidencia del evento El Niño y La Niña según NOAA (2020).

En el análisis histórico detallado para las estaciones en La Guajira, se observa la recurrencia de calidad inadecuada de las estaciones playa Camarones, frente Palomino, frente Camarones, vertimiento Riohacha, playa Riohacha, playa Mayapo, Muelle Riohacha y frente Ranchería (Figura 5-5), estas condiciones se atribuyen principalmente a los altos niveles de Coliformes Termotolerantes, sólidos suspendidos totales y nutrientes inorgánicos, los cuales incrementan durante la época de lluvias.

En febrero de 2020 predominó la calidad inadecuada en 4 estaciones y en el vertimiento de Riohacha la calidad fue aceptable (Figura 5-5). Estas condiciones se atribuyeron principalmente a los altos niveles de sólidos suspendidos totales, los cuales estuvieron relacionados con las lluvias y fuertes brisas que se presentaron en la zona en el mes de febrero 2020 (IDEAM, 2020).

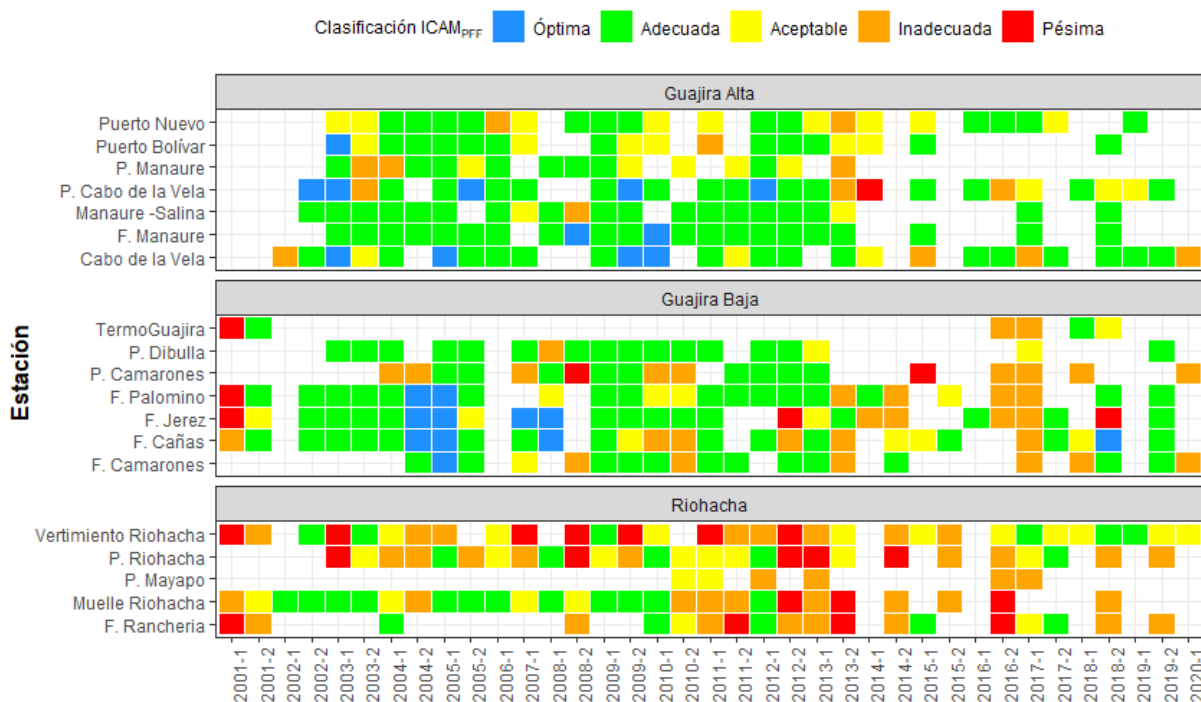


Figura 5-5. Resultados históricos de la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las estaciones REDCAM en La Guajira, entre los años 2001 al 2020.

Los resultados del ICAM, en el muestreo realizado en marzo del 2021, mostraron calidad inadecuada en las estaciones frente a Camarones, frente a río Jerez, playa Camarones, playa Dibulla y Termoguajira; y en octubre se presentó condición pésima en playa Riohacha y condición inadecuada en frente a Jerez, frente Rancheria y muelle Riohacha (Figura 5-6). Estos resultados se asocian a las altas concentraciones de SST y nitratos y los bajos niveles de oxígeno disuelto, que se presentaron en los meses en los que se acentuaron las lluvias por la incidencia de un posible fenómeno La Niña (IDEAM, 2021).

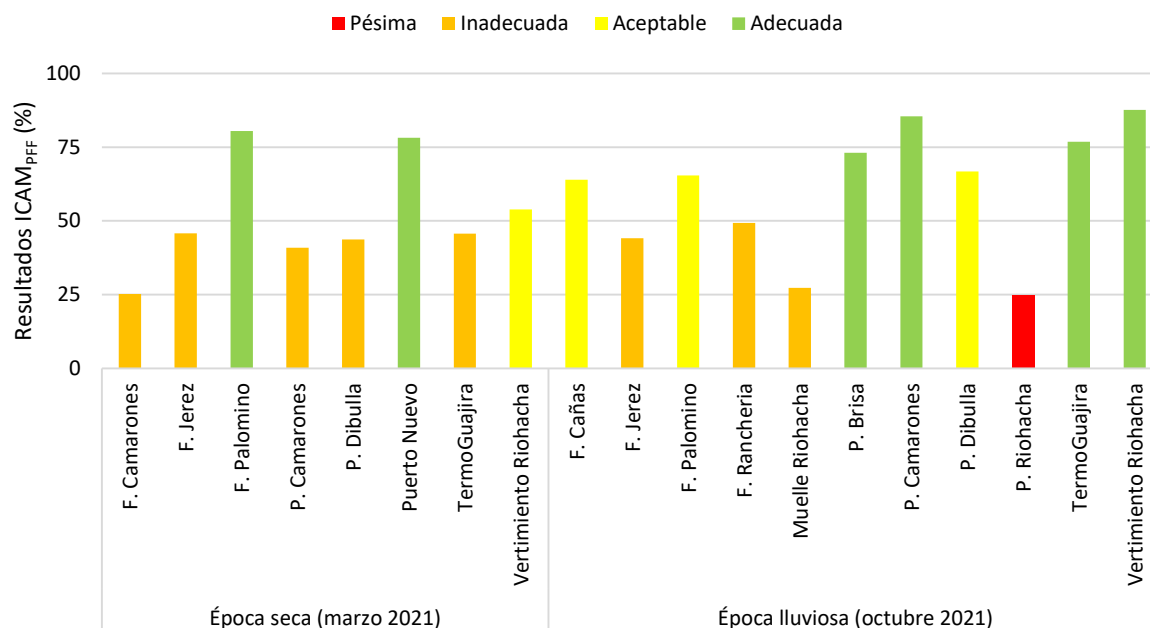


Figura 5-6. Calidad de las aguas marinas y estuarinas de las estaciones REDCAM de La Guajira, en el muestreo de la época seca 2021 (marzo 2021) y época lluviosa (octubre 2021), evaluada con el ICAM_{PFF}.

5.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

Los niveles de cumplimiento de la calidad microbiológica de las aguas en las playas Riohacha, Mayapo, Manaure, Camarones y Cabo de la Vela, se analizaron a partir de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE), contrastados con los valores de referencia de límites permisibles para uso recreativo de contacto primario de <200 NMP/100MI de CTE, <1000 NMP/100mL ([MinAmbiente, 2015](#)) y <100 UFC/100mL ([Unión Europea, 2006](#)).

Desde el año 2001 las concentraciones de CTE, CTT y EFE, han mantenido un comportamiento fluctuante, con niveles de cumplimiento e incumplimiento en diferentes momentos. El análisis histórico mostró que en las estaciones playa Riohacha, muelle Riohacha y playa Manaure se han presentado concentraciones de CTE y CTT (Figura 5-7) que superan de manera reiterativa el criterio de calidad para uso recreativo por contacto primario (natación, 200 NMP de CTE/100 mL; [MinAmbiente, 2015](#)). Las mayores concentraciones de CTE se han presentado en las estaciones P. Riohacha, con 3.500 NMP/100mL (época lluviosa de 2002), 3.500 NMP/100mL (época seca de 2003), 4.900 NMP/100mL (época lluviosa de 2008), 46.000 NMP/100mL (época seca de 2013), muelle Riohacha con 11.000 NMP/100mL (época seca de 2013) y P. Manaure con 1.600 NMP/100mL (época seca de 2003). Las mayores concentraciones de CTT se han presentado en las estaciones P. Riohacha con 24.000 NMP/100mL (época lluviosa de 2008), 46.000 NMP/100mL (época seca de 2013) y muelle Riohacha con 17.000 NMP/100mL (época seca de 2013).

Estos cambios de calidad microbiológica han estado relacionados tanto con factores climáticos marcados por épocas de altas y bajas precipitaciones, la presencia de factores antropogénicos

relacionados con actividades turísticas y las descargas de los ríos que reciben vertimientos directos de aguas residuales sin tratamiento. Además, históricamente playa Manaure es la estación que ha presentado el valor más elevado de EFE, alcanzando en la época seca de 2010 una concentración de 1.225 UFC/100mL, valor por encima de 500 UFC/100mL, propuesto por la [OMS \(2003\)](#), lo cual indica que hay una probabilidad >10% de que los usuarios de las playas contraigan enfermedades gastrointestinales (EGI) y >3,9% de contraer enfermedades respiratorias febriles agudas (ERFA).

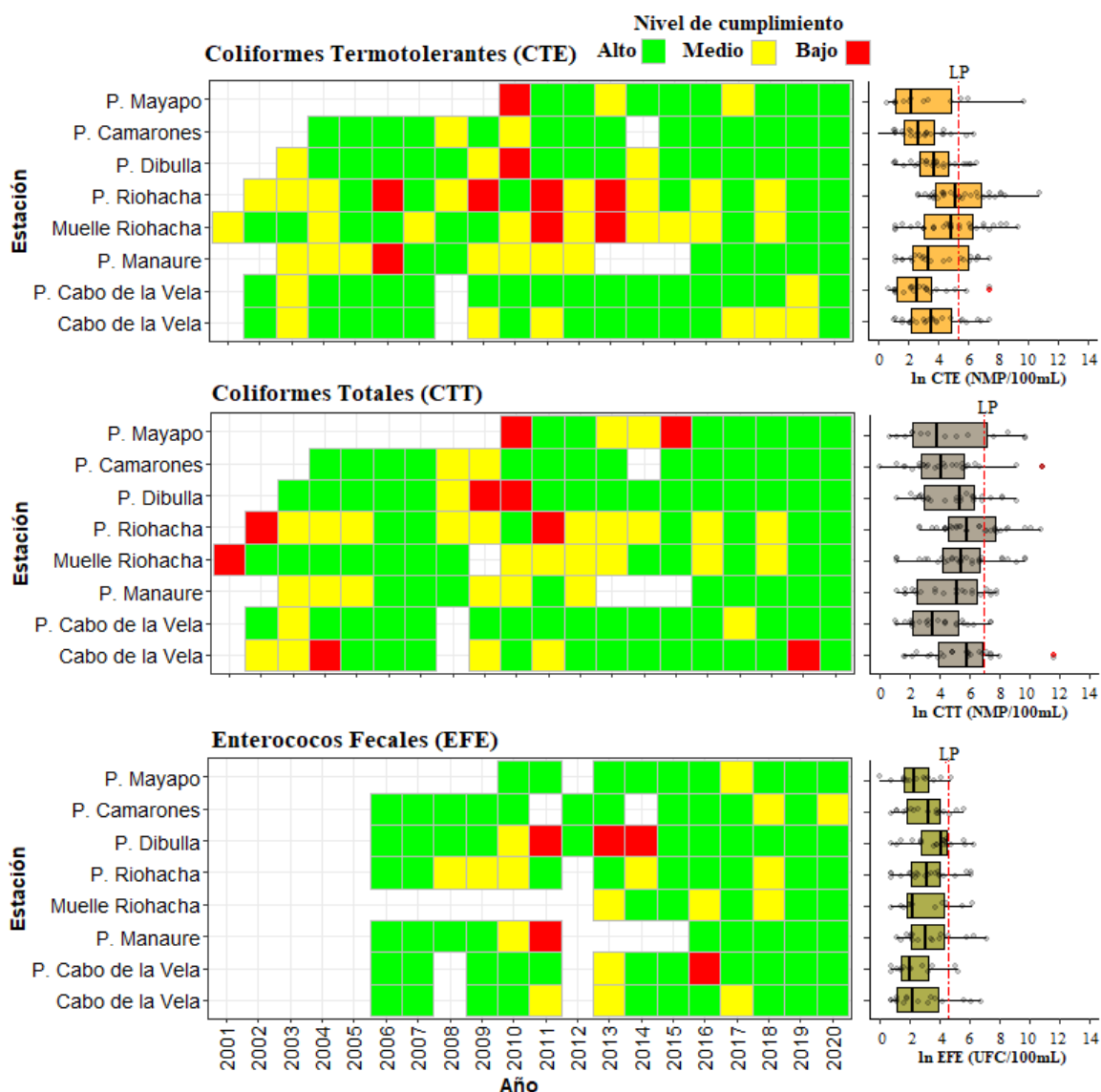


Figura 5-7. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de La Guajira. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 50 y $< 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Bajo, cuando menos del 50% ($< 50\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. LP: Límite Permissible.

5.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

El contenido de Materia Orgánica (MO) en las muestras de sedimentos recopiladas entre 2014 y 2020 fluctuó entre 0,7 y 79,6 mg/g (Figura 5-8). En general los mayores registros fueron observados en la época seca, principalmente en las estaciones Bahía Hondita, R. Ranchería y B. Ranchería. Entre 2017 y 2020, en la estación Bahía Hondita, las concentraciones fueron cercanas a 10 mg/g, en 2019 para la época seca, en esta estación se registró la mayor concentración de MO de todo el departamento. Por el contrario, en la estación R. Tapia-Pte Bomba, se registraron las concentraciones de MO más bajas de todo el departamento, con valores menores a 1,76 mg/g. La estación F. Ranchería no presentó mayor variación en las concentraciones de MO, los valores observados entre 2014 y 2016 oscilaron entre 2,54 y 3,84 mg/g. Por otra parte, se logró evidenciar en el transcurso del tiempo una disminución en las concentraciones de MO en las muestras de sedimentos de la estación P. Brisa, pasando de 21,3 mg/g en 2017 a 8,46 mg/g en 2020.

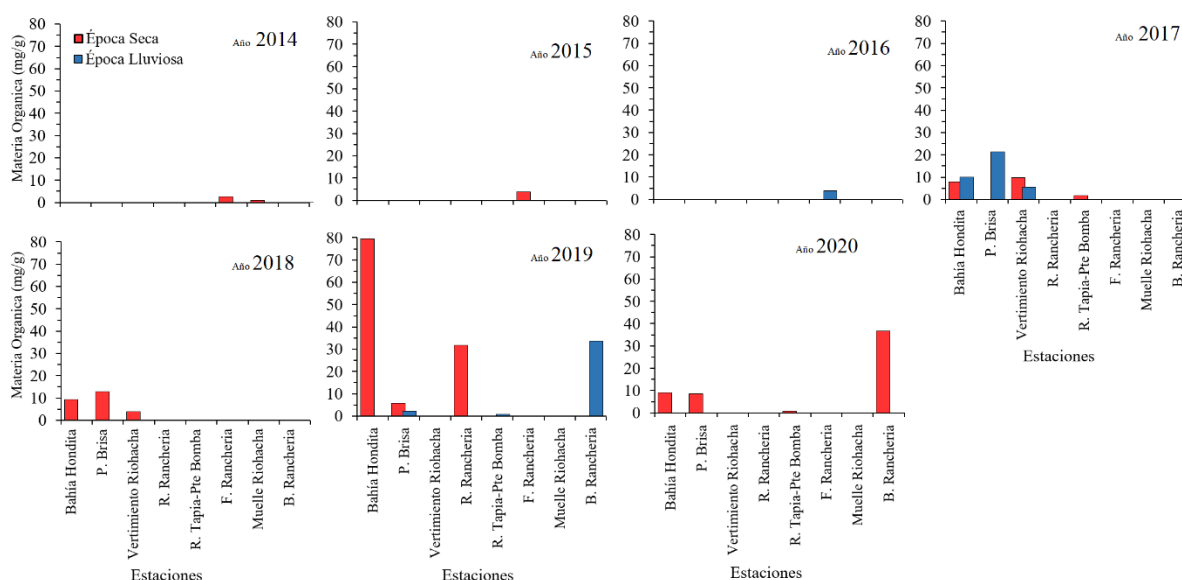


Figura 5-8. Materia Orgánica (mg/g) de las muestras de sedimentos recopiladas entre 2014 y 2020, en las estaciones del departamento de La Guajira. Las barras rojas representan la época seca y barras azules época lluviosa.

Las concentraciones de metales en sedimentos marino/estuarinos registradas en el periodo 2014 y 2020, oscilaron entre 2,5 y 49,1 $\mu\text{g/g}$ para Cobre (Cu), 6,8 y 45,1 $\mu\text{g/g}$ para Cromo (Cr), 3 y 42,8 $\mu\text{g/g}$ para Níquel (Ni), 9,2 y 147 $\mu\text{g/g}$ para Zinc (Zn), 7,1 y 46,6 $\mu\text{g/g}$ para Plomo (Pb), 4,4 y 68,6 ng/g para Mercurio (Hg), 2,7 y 31 mg/g para Hierro (Fe) (Figura 5-9); el Cadmio (Cd) siempre estuvo por debajo del Límite de Cuantificación del método usado por el LABCAM, entre 2014 y 2016 ($\text{LC}=0,5 \mu\text{g/g}$); entre 2017 y 2020 ($\text{LC}=12,5 \mu\text{g/g}$).

En B. Ranchería se observó entre 2019 y 2020, que las concentraciones de Cu y Zn estuvieron por encima del valor de referencia para efectos umbral (TEL: 18,7 $\mu\text{g/g}$ Cu y 124 $\mu\text{g/g}$ Zn) propuestos por la NOAA (Buchman, 2008; Figura 5-9). De igual manera se registró para F. Ranchería en 2014 concentraciones de Pb que sobrepasaron el límite de referencia (TEL: 30,2 $\mu\text{g/g}$ Pb) y, además concentraciones de Ni que estuvieron al límite del valor de referencia para

efecto probable (PEL: 42,8 $\mu\text{g/g}$ Ni) propuestos por la NOAA (Buchman, 2008). En general para las estaciones monitoreadas, no se evidenció en el periodo analizado concentraciones de Hg y Cr por encima de los límites de referencia (TEL y PEL).



Figura 5-9. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos recopilados entre 2014 y 2020 en el departamento de La Guajira. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.

En las muestras de sedimentos de agua dulce, las concentraciones máximas de metales reportados entre 2017 y 2020 variaron entre 7,9 y 49,1 $\mu\text{g/g}$ para Cobre (Cu), 64,6 y 91,5 $\mu\text{g/g}$ para Cromo (Cr), 16,8 y 112 $\mu\text{g/g}$ para Zinc (Zn), 3,6 y 6,8 ng/g para Mercurio (Hg) y 3,5 y 38,7 mg/g para Hierro (Fe) (Figura 5-10). Los metales Níquel (Ni) y Plomo (Pb) solo registraron para el año 2014 concentraciones de 19,8 y 11,6 $\mu\text{g/g}$, respectivamente. Por otra parte, los valores de cadmio (Cd) estuvieron por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica usada por el LABCAM (LC=12,5 $\mu\text{g/g}$).

En el año 2017, particularmente en la estación R. Tapia-Pte Bomba, las concentraciones de Cr y Ni superaron los límites de referencia para efectos umbral (TEL: 37,3 µg/g Cr y 18 µg/g Ni). Para 2019 se observó en R. Ranchería concentraciones de Cu que sobrepasaron el límite (TEL: 35,7 µg/g Cu) y de Cr por encima del límite de referencia para efecto probable (PEL: 90 µg/g Cr) (Figura 5-10).

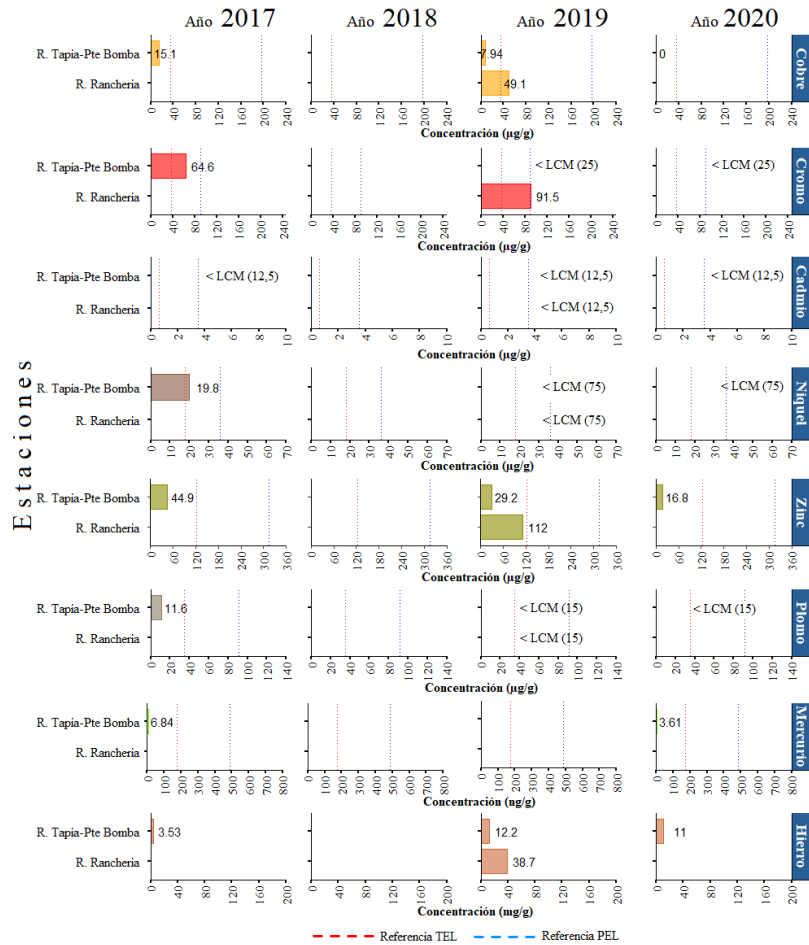


Figura 5-10. Concentración de metales totales en sedimentos de agua dulce recopilados entre 2017 y 2020 en el departamento de La Guajira. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos de agua dulce. 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.

Entre 2014 y 2020 se monitorearon las concentraciones de plaguicidas organoclorados y organofosforados en muestras de sedimentos del departamento de La Guajira. De las 424 observaciones de plaguicidas organoclorados analizados durante el periodo de estudio, un 54,5% fueron determinados como valores por debajo del límite de detección, un 44,6% como valores menores al Límite de Cuantificación (LCM) del método usado por el LABCAM y, un 0,9% como valores detectados, entre los cuales se relacionan Aldrin (ALD2) con 2,4 ng/g para Bahía Hondita en 2017, Endrin Cetona (P11) con 4,2 ng/g y 4,2 ng/g de Organoclorados Totales (OCT) registrados en 2015 para F. Ranchería, y finalmente 29 ng/g de Methyl Parathion (P100) detectado en 2016 para la estación anteriormente mencionada (Figura 5-11).

Con respecto a los plaguicidas organofosforados, un total de 131 muestras fueron analizadas durante el periodo 2014 y 2020. De los 14 tipos de plaguicidas analizados, el 52,7% estuvieron por debajo del límite de detección y un 47,3% por debajo del Límite de Cuantificación (LCM) del método usado por el LABCAM (Figura 5-11).

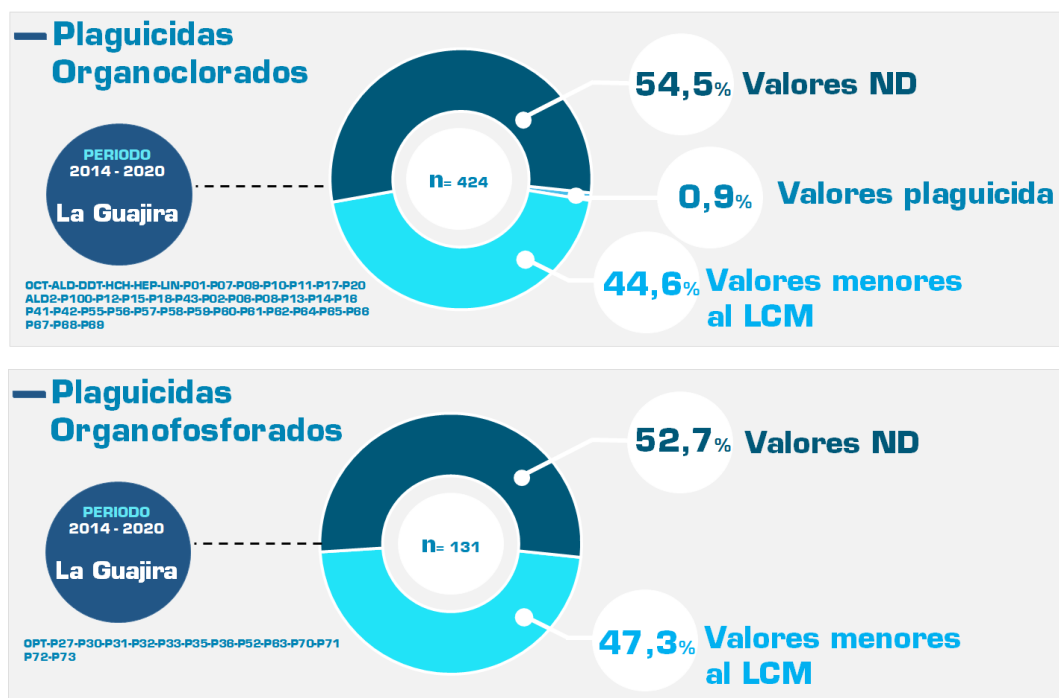


Figura 5-11. Representación histórica de los resultados de plaguicidas organoclorados y organofosforados medidos en las muestras de sedimento del departamento de La Guajira.

5.3 CONTAMINACIÓN POR BASURAS MARINAS EN PLAYAS TURÍSTICAS

En cuanto a la contaminación por basura marina, en Playa Palomino se registró un peso total de ≈ 24 g, donde el 100 % correspondió al tipo plástico representado por bolsas y fragmentos de plástico arrojados comúnmente por el turismo. Las abundancias oscilaron entre 0 y 0,4 ítems/m² (Figura 5-12), valores que están por debajo de los reportados en otras playas turísticas como lo playa Bahía Concha y Taganga en Magdalena, que han presentado concentraciones de 14 y 21 ítems/m² respectivamente ([Garcés-Ordóñez et al., 2020](#)).

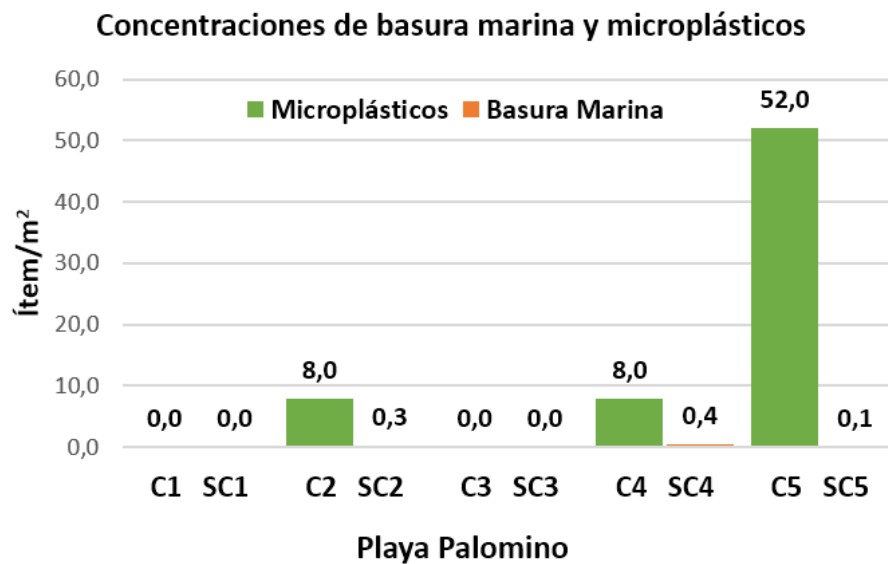


Figura 5-12. Concentraciones de los cuadrantes de basura marina (C) y subcuadrantes de microplásticos (SC) establecidos en playa Palomino en octubre de 2021.

Los microplásticos registrados fueron en su totalidad de origen secundario, es decir que son producidos por la degradación física, química o biológica de plásticos de mayor tamaño ([Yu et al., 2020](#); [Rojo-Nieto y Montoto, 2017](#)), representados en su totalidad por el tipo filamento (Figura 5-13), formados a partir de la fragmentación de fibras de textiles y residuos de redes de nylon. Los valores oscilaron entre 0 y 52,0 ítems/m² (Figura 5-12), los cuales están por debajo de los rangos registrados en las playas de importancia turística del Caribe colombiano, como las de Coveñas y Cartagena, en las cuales se han registrado hasta 1000 y 4000 ítems/m² respectivamente ([Acosta-Coley et al., 2019](#)) y los reportados en las playas turísticas de Santa Marta, como Bahía Concha y Taganga, donde se han registrado concentraciones máximas de 92 y 46 ítems/m² respectivamente ([Garcés-Ordóñez et al., 2020](#)).

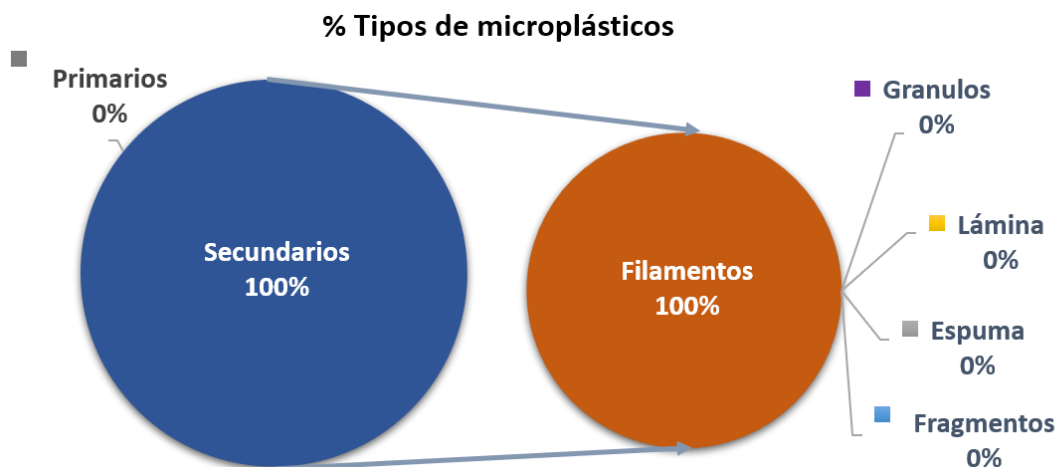


Figura 5-13. Representación de porcentajes de tipos de microplásticos primarios y secundarios registrados en playa Palomino en octubre de 2021.

Las concentraciones microplásticos registrados en playa Palomino no presentan una relación directa a los de basura marina en la arena de la playa, por lo que se atribuye la abundancia de los microplásticos a los aportes de los residuos de turistas que tendría sinergia con los desechos producidos por la población cercana, la cual se fragmenta y forma los microplásticos secundarios que, en épocas de lluvias son transportadas por escorrentías hacia los ríos que desemboca en la zona, llegando hasta las playas por las corrientes costeras ([Weinstein et al., 2016](#); [Yu et al., 2020](#)).

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la erosión costera. La Guajira es uno de los departamentos que presenta mayor proporción de su área costera afectada, representada con un 28,1% de la costa con grados de erosión severo y muy severo (IDEAM. 2015). En el caso de playa Palomino, durante la salida de campo se observaron escarpes en la playa que se producen por erosión costera, lo cual es respaldado por el estudio realizado por el INVEMAR (2018), donde playa Palomino se identifica como una de las áreas críticas de erosión de acuerdo con el grado ocurrencia en el departamento, con tasas de cambio de línea de costa superiores a 1 m/año, con comportamiento erosivo, lo que sugiere que este proceso podría jugar un papel importante en la remoción de arena de la playa contaminada con basuras marinas y microplásticos disminuyendo las concentraciones de los mismos

5.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ El análisis histórico del ICAM por estaciones, demostró la recurrencia en condiciones inadecuadas para las estaciones playa Camarones, frente Palomino, frente Camarones, vertimiento Riohacha, playa Riohacha, playa Mayapo, Muelle Riohacha y frente Ranchería, condiciones asociadas a los altos niveles de Coliformes Termotolerantes, sólidos suspendidos totales y nutrientes inorgánicos (nitratos y ortofosfatos), los cuales incrementaron con la época de lluvias.
- ❖ Históricamente se demostró que la alta carga de Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales en las estaciones P. Riohacha, muelle Riohacha y P. Manaure, son las responsables de la calidad microbiológica inadecuada de las aguas superficiales marinas y costeras. Estos indicadores de calidad sanitaria (CTT y CTE), con niveles de incumplimiento que de manera recurrente superan los criterios de calidad de la legislación colombiana, así como los EFE que incumplen los lineamientos de la OMS, son responsables del deterioro de la calidad del agua para el uso recreativo de las playas como aguas de baño.
- ❖ El análisis histórico de las concentraciones de los metales totales Cr, Cu, Ni, Zn, Pb, Hg y Fe en el sedimento de las estaciones B. Ranchería, Bahía Hondita, R. Ranchería y R. Tapia-Pte Bomba, mostro que estos metales están por encima de los valores de referencias para efectos umbral (TEL) propuestos por la NOAA. Si bien estos elementos estos elementos están naturalmente en el ambiente, es importante realizar un estudio más detallado que permita determinar si son condiciones del medio natural o es el efecto de acciones antrópicas.
- ❖ En playa Palomino se registro contaminación por microplásticos de origen secundario, predominando el tipo filamento que se produce por la fragmentación de fibras de textiles y residuos de redes de nylon. Se requiere de mayor investigación para comprender el comportamiento de los microplásticos en las playas, incluyendo mediciones espacio temporales, mediciones en aguas, análisis de corrientes marinas y erosión costera.

6. 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, Pueblo Viejo 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 ([Ecovera, 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 6-1; [Vivas-Aguas et al., 2014](#)).

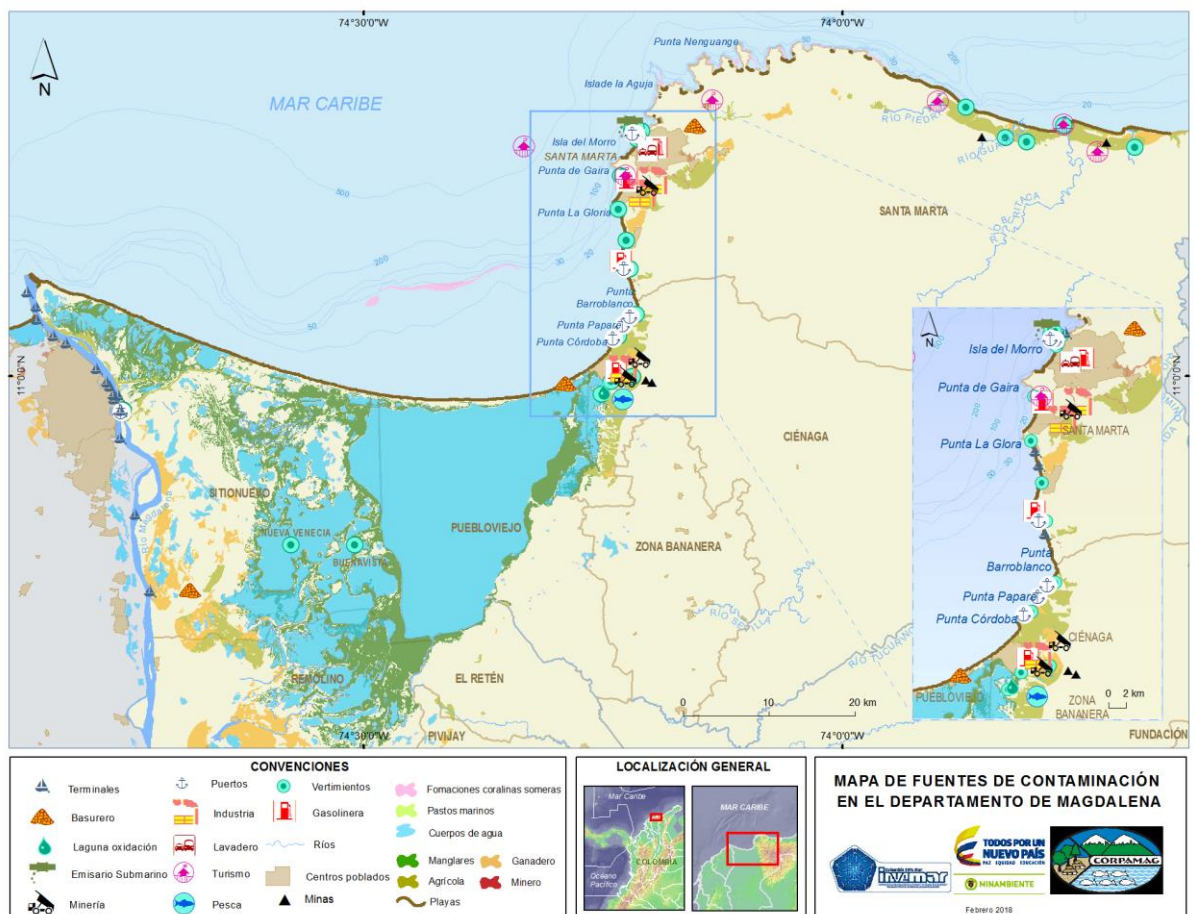


Figura 6-1. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento del Magdalena, Caribe colombiano.

En el Magdalena, la REDCAM cuenta con 45 estaciones de muestreo distribuidas en cinco zonas (Figura 6-2), 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).

Cabe aclarar que la CGSM cuenta con un monitoreo mensual, cuyos resultados de calidad de aguas se reportan en los informes técnicos anuales del proyecto *Monitoreo de las Condiciones Ambientales y los Cambios Estructurales y Funcionales de las Comunidades Vegetales y de los Recursos Pesqueros Durante la Rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta* disponibles en: <http://www.invemar.org.co/inf-cgsm>.

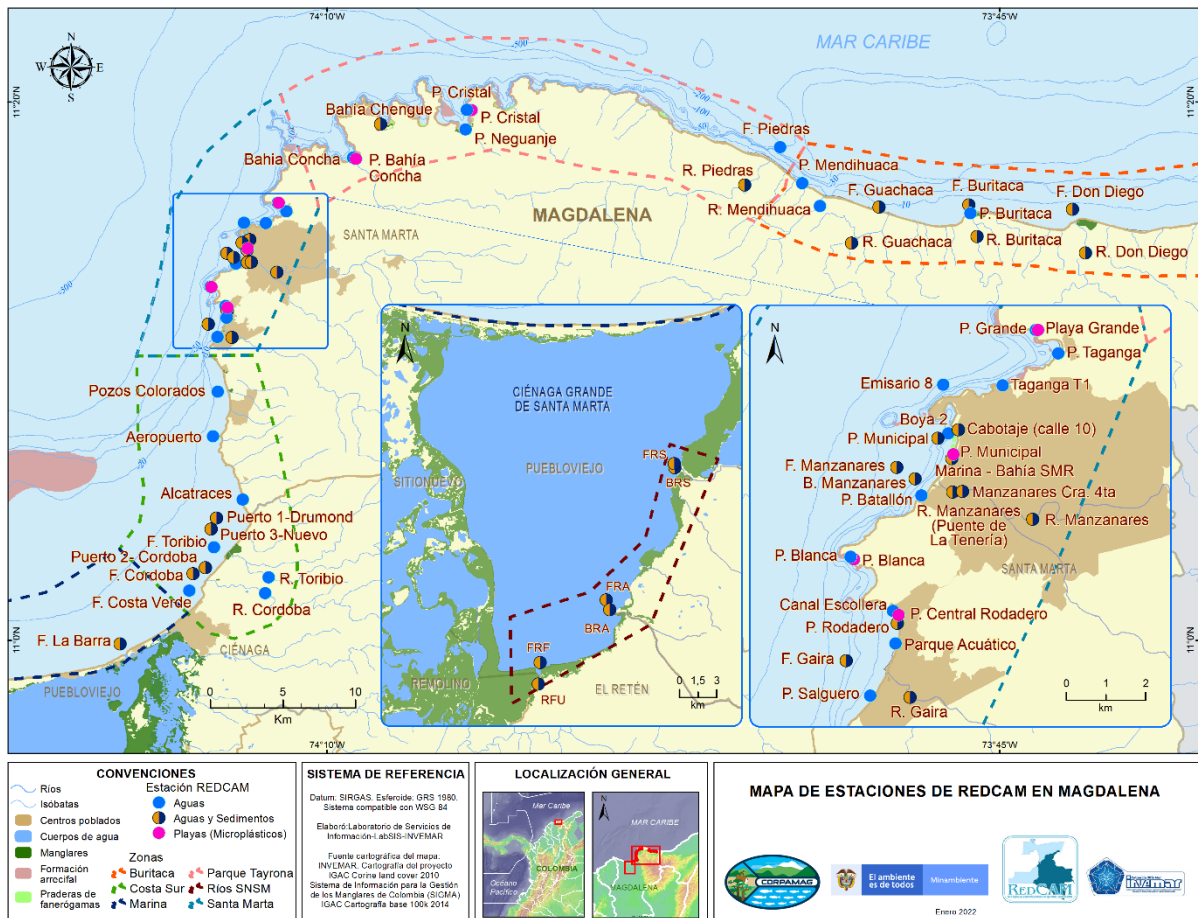


Figura 6-2. Mapa con las estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento del Magdalena. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y los puntos bicolores (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimento, y los puntos fucsia corresponden a las estaciones de medición de microplásticos en arena de playa. Los polígonos punteados enmarcan las zonas de muestreo.

Desde el 2001, el monitoreo de la REDCAM se ha realizado en cooperación entre la Corporación Autónoma Regional del Magdalena –CORPAMAG y el INVEMAR. En el año 2020, se realizó un muestreo entre los días 2 y 3 de marzo, antes de decretarse el aislamiento obligatorio para reventar el contagio y propagación de la COVID-19. Adicionalmente, el 8 de mayo de 2020 se realizó un muestreo en tres playas donde se presentaban frecuentemente calidad del agua desfavorable; este muestreo se hizo durante el aislamiento preventivo. Además, durante el 2021 se realizaron dos salidas de campo abarcando la época seca y lluviosa. Por lo cual, el presente reporte contiene información del comportamiento de la calidad del agua desde 2001 hasta 2021.

6.1 CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS

6.1.1 Calidad de agua para la preservación de flora y fauna

Históricamente, en el departamento del Magdalena, la REDCAM ha monitoreado la calidad de las aguas marinas y costeras en aproximadamente 45 estaciones, de las cuales en 2021 se monitorearon solo 39 estaciones. Considerando la clasificación de las aguas por los valores de salinidad propuesta por [Knox \(2001\)](#); Figura 6-3), se determinó que el 73% de las estaciones REDCAM en Magdalena están en aguas marinas, que corresponden a las playas, bahías y algunos frentes de ríos, el 7% de las estaciones están ubicadas en áreas estuarinas que corresponden a algunos frentes de ríos, y el 20% fueron de agua dulce ubicados en ríos del departamento (río Córdoba, río Toribio, río Gaira, río Manzanares, río Piedras, río Buritaca y río Don Diego). A partir de estos resultados, solo a 25 estaciones monitoreadas en época seca y 21 estaciones en época lluviosa del 2021 se les calculó el ICAM para la preservación de flora y fauna.

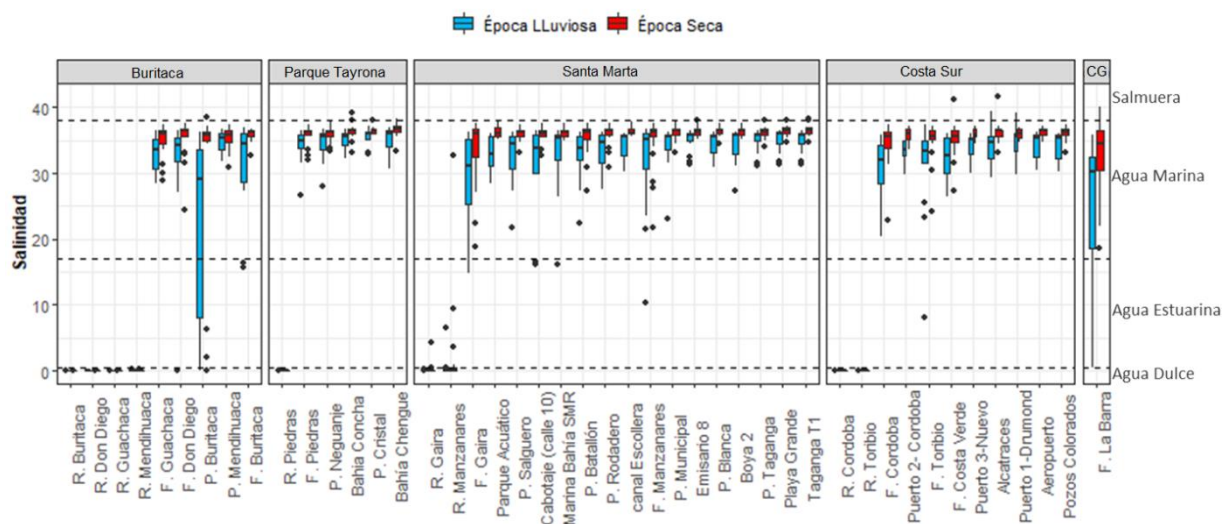


Figura 6-3. Variación histórica (2001-2020) de la salinidad del agua en las estaciones y zonas REDCAM en Magdalena. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por [Knox \(2001\)](#).

El cálculo del ICAM_{PFF} en los 21 años de información, ha mostrado una alta variabilidad de la calidad del agua marina y costera, con cambios interanuales (Figura 6-6), donde desde el año 2013 se ha producido un aumento fluctuante de condiciones entre aceptable, inadecuada y pésima. En el balance histórico mostró que el 2,6 % ha marcado condición pésima, 10,4 % inadecuada, 15,5% aceptable, 62,1 adecuada y 9,3%, óptima; con recurrencia de condiciones entre inadecuada y pésima en estaciones Muelle Cabotaje (Calle 10) y Emisario 8.

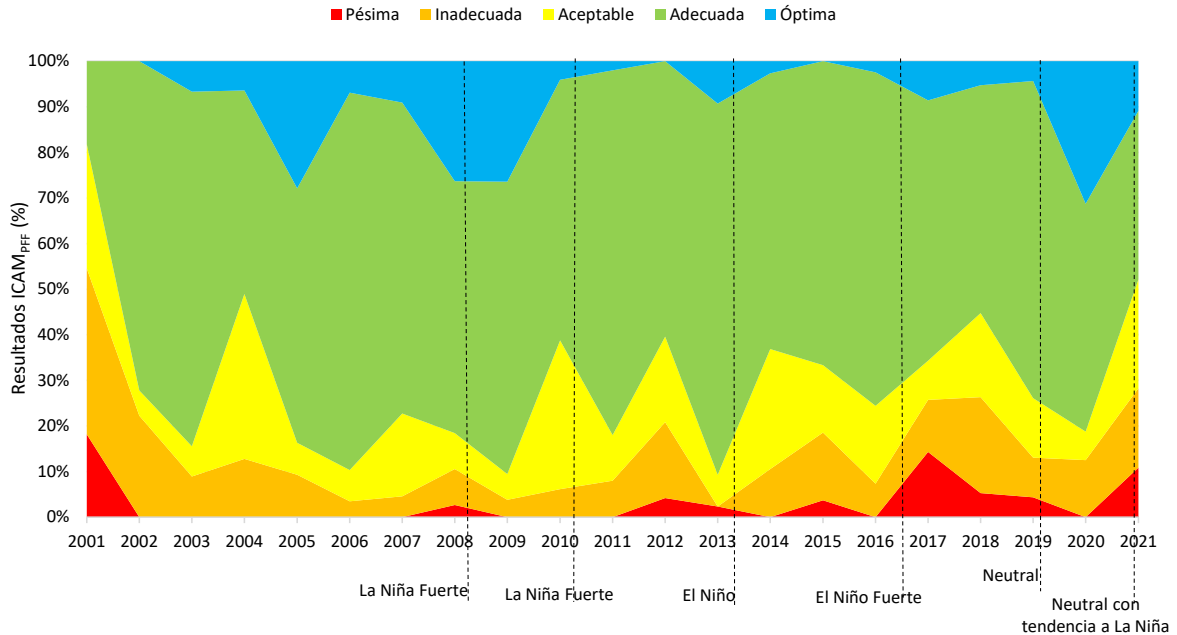


Figura 6-4. Evolución histórica del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PFF}) en el periodo 2001 a 2021 en el departamento de Magdalena Las líneas transversales negras indican años con una incidencia del evento El Niño y La Niña según NOAA (2020).

Los resultados de la aplicación del ICAM_{PFF} para el muestreo en época seca de 2021, mostraron que la calidad del agua superficial del 12 % de las estaciones evaluadas fue óptima, el 40 % fue adecuada, el 32 % fue aceptable, el 12 % fue inadecuada y el 4 % fue pésima (Figura 6-5). La estación con calidad pésima correspondió a Muelle Cabotaje (Calle 10) ubicado en la zona de Santa Marta, debido a las altas concentraciones de nitratos, ortofosfatos y Coliformes Termotolerantes (Figura 6-3), que indican vertimientos de aguas residuales en este sector, donde se observó agua de coloración oscura y se percibieron malos olores típicos de aguas residuales durante el muestreo en este sector de la Bahía de Santa Marta.

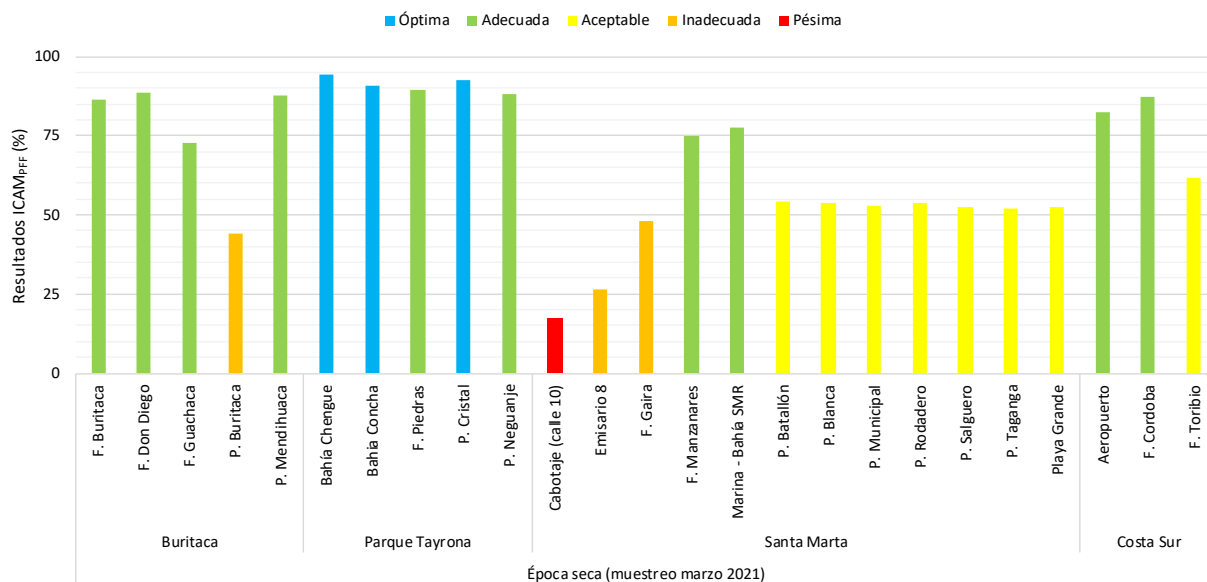


Figura 6-5. Calidad de las aguas marinas y estuarinas de las estaciones REDCAM de Magdalena, en el muestreo de la época seca 2021, evaluada con el ICAM.

En la época seca 2021, se encontró una calidad inadecuada del agua en la **playa Buritaca** (zona Buritaca), debido a que se registraron altas concentraciones de sólidos suspendidos totales y nitratos, y se registró una baja concentración de clorofila *a* (Figura 6-5); esta playa recibe las descargas del río Buritaca. También se encontró calidad inadecuada del agua en las estaciones **frente río Gaira** y **emisario 8** (zona Santa Marta), la primera se encuentra en el río muy intervenido que recibe aguas residuales de las viviendas ubicadas en sus riberas, y en la segunda estación se vierten las aguas residuales de la ciudad a través del emisario submarino. En estas dos últimas estaciones con calidad inadecuada, se registraron altas concentraciones de nitratos y Coliformes Termotolerantes (Figura 6-5). Las estaciones con calidad óptima para la preservación de flora y fauna fueron Bahía Chengue, Bahía Concha y playa Cristal, las cuales se ubican en la zona del Parque Natural Nacional Tayrona.

En la época lluviosa de 2021, las condiciones pésima e inadecuadas de la calidad del agua superficial se incrementaron, representando el 19 % y 24 % de las estaciones monitoreadas, respectivamente. En esta época lluviosa, disminuyeron los porcentajes de estaciones con calidad aceptable (14 %), óptima (10 %), y un 33% en condición adecuada (Figura 6-6). Las estaciones con pésima calidad para la preservación de flora y fauna fueron Cabotaje (calle 10), Marina Bahía SMR, frente río Manzanares y playa Batallón (zona de Santa Marta), en las cuales se incrementaron las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos, sólidos suspendidos y Coliformes Termotolerantes, que en el caso de la estación Cabotaje (calle 10) afectó las condiciones de oxígeno disuelto (Figura 6-6); situación que se asocia a vertimientos de aguas residuales, rebosamiento de las aguas residuales por las alcantarillas en la ciudad durante la época lluviosa, que facilita el transporte de estos residuos a la zona marina.

En época lluviosa de 2021, las estaciones con condición de calidad inadecuada y pésima fueron las ubicadas en la ciudad de Santa Marta (Figura 6-6), que están afectadas por la misma situación de rebosamiento de aguas residuales en las alcantarillas. Además, en las zonas de Buritaca y Parque Tayrona se encontraron las estaciones con mejores condiciones de calidad del agua (Figura 6-6), la playa Buritaca pasó de inadecuada en época seca a aceptable en época lluviosa mejorando las concentraciones de nutrientes y clorofila a (Figura 6-6). La playa Cristal en el Parque Tayrona desmejoró su calidad debido a que se incrementaron las concentraciones de nitratos y Coliformes Termotolerantes (Figura 6-6); esta es una de las playas de mayor interés turístico del Parque Tayrona.

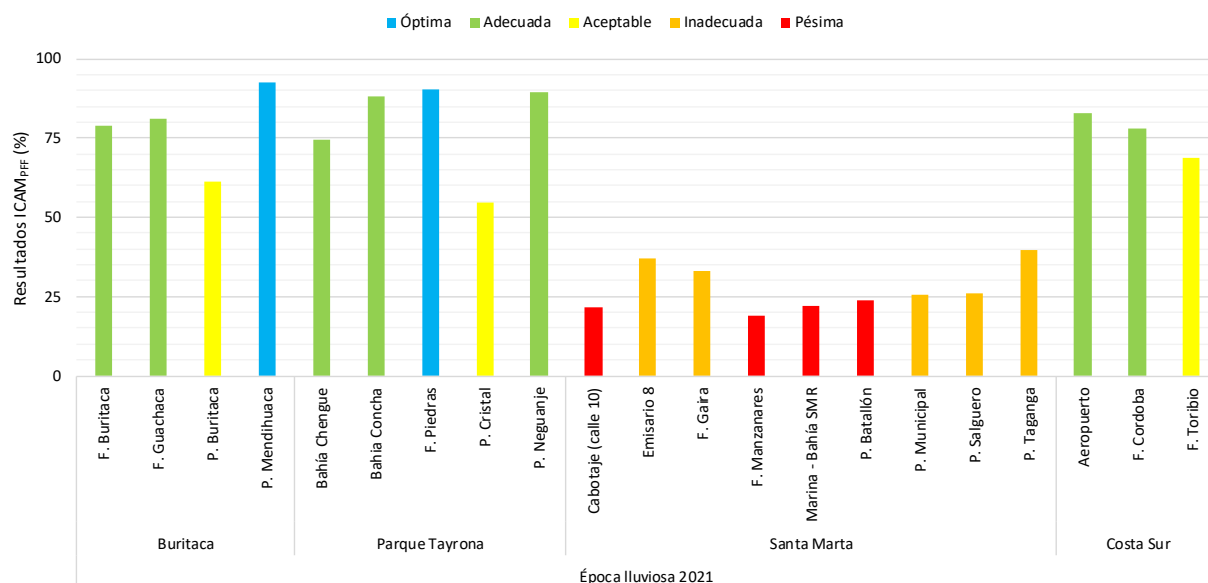


Figura 6-6. Calidad de las aguas marinas y estuarinas de las estaciones REDCAM de Magdalena, en el muestreo de la época lluviosa 2021, evaluada con el ICAM.

Las estaciones que en los muestreos de las épocas seca y lluviosa de 2021 tuvieron condiciones inadecuadas y pésimas de calidad del agua para la preservación de flora y fauna, son las que históricamente (Figura 6-7) han presentado afectaciones por vertimientos de aguas residuales de la ciudad de Santa Marta, el cual se podría considerar como uno de los factores de degradación ambiental más relevantes en el departamento, y que afecta la calidad del agua, limitando sus usos, poniendo en riesgo a los ecosistemas y comunidades locales. Como se muestra en la Figura 6-7 la zona de Santa Marta es la que tiene con mayor recurrencia condiciones pésimas e inadecuada en comparación con otras zonas. Se destaca también la zona del parque Tayrona donde las condiciones óptimas y adecuadas han sido muy recurrentes.

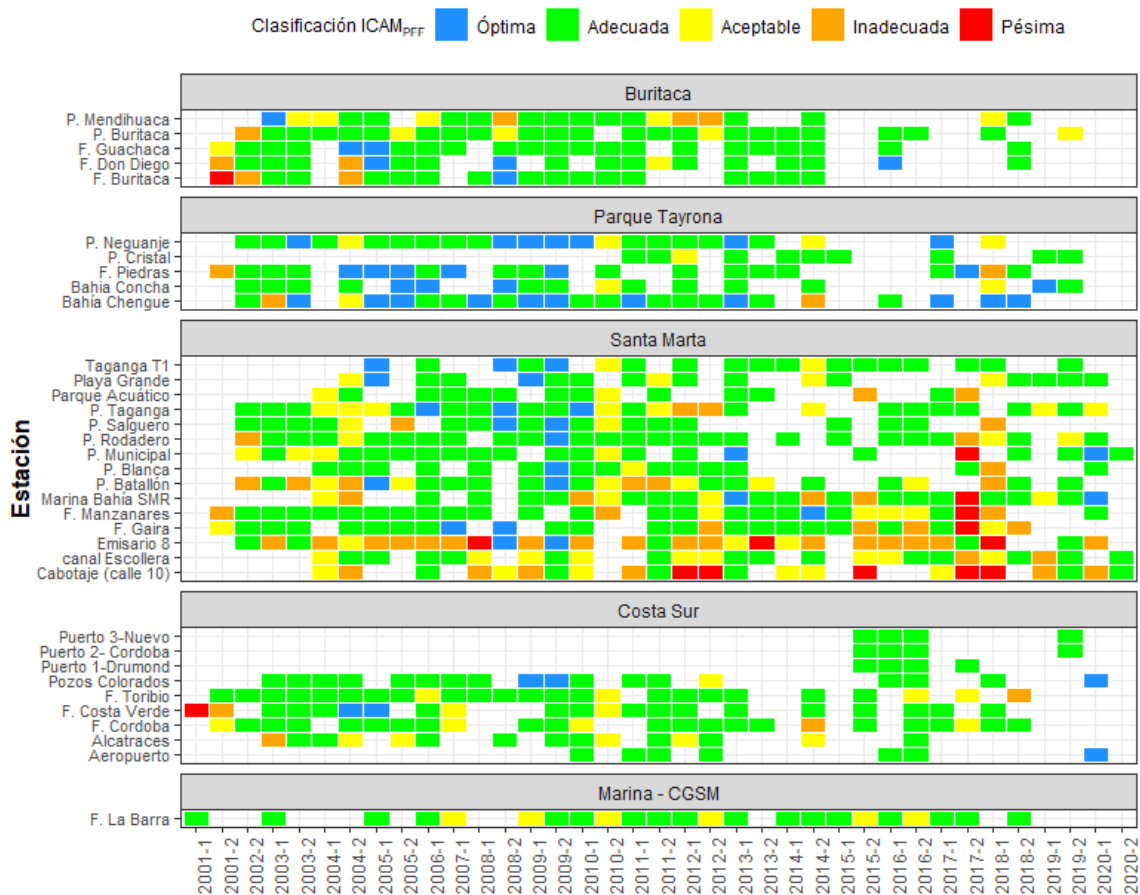


Figura 6-7. Resultados históricos de la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las estaciones REDCAM en Magdalena, entre los años 2001 al 2020.

6.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

Las concentraciones de los indicadores de calidad microbiológica para el uso recreativo del agua fueron más altas en la época lluviosa 2021, en comparación con la época seca 2021. En cuanto a las concentraciones de Coliformes Totales, en época seca 2021, se registraron valores por debajo del criterio de calidad para el uso recreativo por contacto primario en la mayoría de las estaciones, excepto la estación Cabotaje (calle 10), la cual se encuentra en la zona norte de la playa Camellón, donde ingresan aguas residuales y constantemente se presentan malos olores. Aunque en esta zona de la bahía no ingresan turistas a bañarse, corresponde a la misma playa Camellón, ubicada en la zona sur de la bahía, donde ingresan turistas y comunidad local a bañarse y realizar actividades recreativas, las cuales podrían estar expuestas a enfermedades de la piel, gastrointestinales y respiratorias (OMS, 2003). En época lluviosa las concentraciones de Coliformes Totales se incrementaron, pasando por encima del criterio de calidad para las actividades recreativas por contacto primario (1000 NMP/100 mL; MinAmbiente, 2015) en las playas de Buritaca, Municipal, Salguero, Taganga y en bahía Chengue. Esto asociado a rebosamientos de aguas residuales por las redes de alcantarillado público en la zona de Santa

Marta, descarga de los ríos Manzanares, Gaira y Buritaca que son receptores de aguas residuales y que desembocan en estas zonas, y por las escorrentías que en época de lluvias ejercen un lavado del suelo con este tipo de microorganismos provenientes de excretas de humanos y animales que suelen estar presentes en las zonas emergidas y sumergidas de las playas (Hurtado-García *et al.*, 2009), sumado al incremento de usuarios y bañistas que aumentan la carga microbiológica con el desarrollo de actividades recreativas tanto en el agua como en la arena.

Las Coliformes Termotolerantes presentan el mismo patrón de comportamiento que el indicador de Coliformes Totales, debido a que son un subgrupo de las Coliformes Totales, aumentando las concentraciones en la época lluviosa y mostrando un incumplimiento del criterio de calidad para el uso recreativo por contacto primario en las playas Buritaca, Municipal, Batallón, Blanca, Rodadero, Salguero y Taganga.

Los Enterococos Fecales también se encontraron en altas concentraciones en época lluviosa 2021 en comparación con la época seca de 2021, las mayores concentraciones se registraron en la zona de la playa Municipal – Cabotaje (calle 10) y en Salguero, las cuales superaron el valor de referencia para el uso recreativo del agua (EFE <100 UFC/100 mL) descrito en la Directiva 2006/7/EC del Parlamento Europeo ([Unión Europea, 2006](#)). Estos dos últimos indicadores nos confirman que la contaminación microbiológica se asocia a vertimientos de aguas residuales, lo que se puede confirmar en sectores de la ciudad de Santa Marta donde se observan frecuentemente esta problemática, pero en sectores como Buritaca no son muy evidentes y en el Parque Tayrona pueden corresponder a eventos puntuales de llegada de residuos por escorrentías.

En la Figura 6-8 se muestra el registro histórico de cumplimiento de los indicadores microbiológicos de calidad del agua para el uso recreativo en las playas turísticas del Magdalena. En los años 2011, 2012, 2014 se presentaron el mayor número de playas con incumplimiento de los criterios de calidad para el uso recreativos, en estos años se presentaron eventos de La Niña, con fuertes lluvias que normalmente en Santa Marta y otras poblaciones del departamento, ayuda a transportar los residuos fecales que salen del sistema de alcantarillado por rebosamiento, también es común que se presenten contingencias en los sistemas de bombeo de las aguas residuales y se den vertimiento de estos residuos a ríos, como ha ocurrido en varias ocasiones, principalmente en el río Manzanares. Las playas de Buritaca, El Rodadero, Municipal, Batallón y Salguero son las playas que presentan mayor recurrencia en el incumplimiento de los criterios de calidad para el uso recreativo del agua (Figura 6-8), y son las playas de más recurrencia de turísticas y comunidades locales.

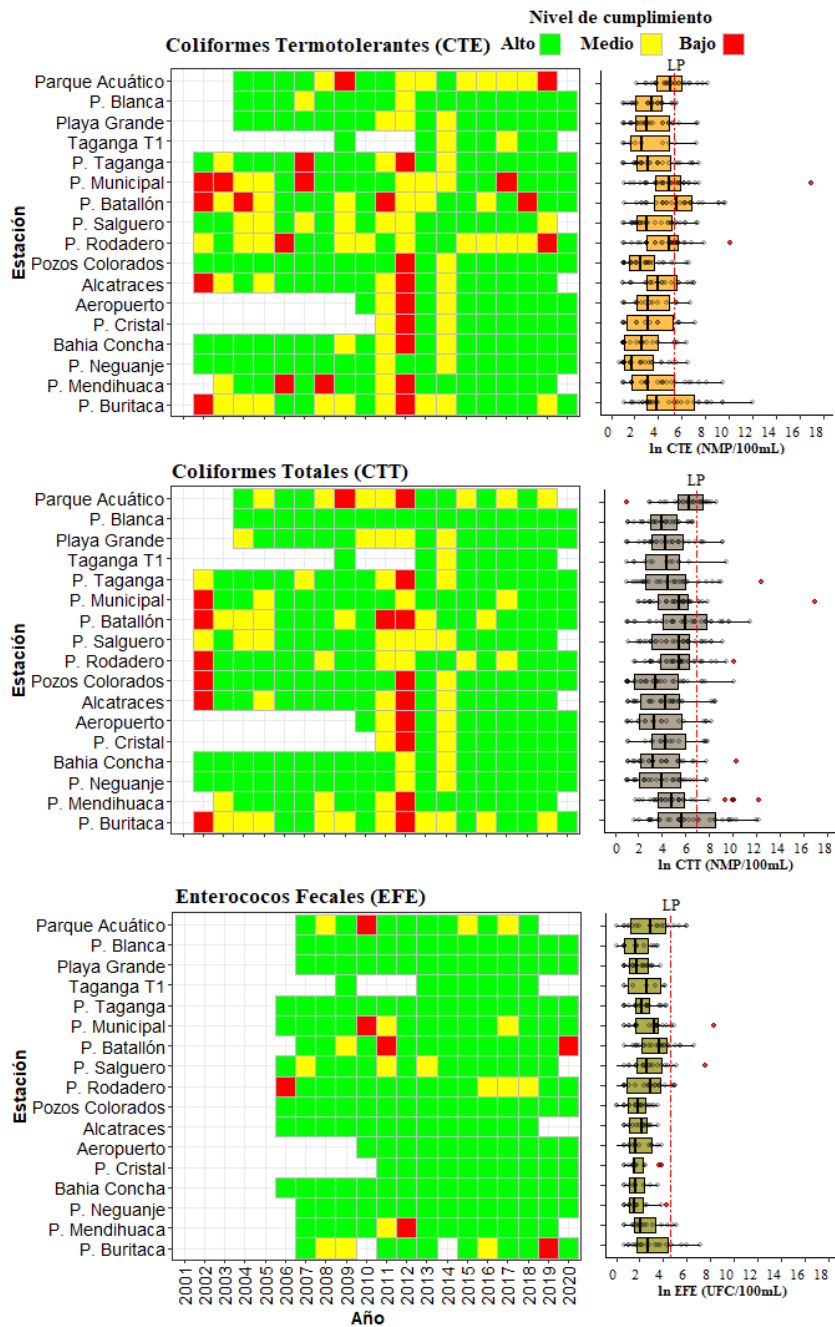


Figura 6-8. Registros históricos del cumplimiento de indicadores microbiológicos de calidad del agua para el uso recreativo en playas del Magdalena. Nivel de cumplimiento: Alto, el 100% de las mediciones anuales cumplieron con el límite permisible; Medio, ≥ 50 y $< 100\%$ de las mediciones anuales cumplieron con el límite permisible; Bajo, $< 50\%$ de mediciones anuales cumplieron con el límite permisible.

6.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

En el año 2021 se midieron metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos y plaguicidas organoclorados y organofosforados en sedimentos de las estaciones Cabotaje (calle 10), frente del río Gaira y frente del río Manzanares.

En la estación **Muelle Cabotaje** se registraron altas concentraciones de Cobre (Cu), mercurio (Hg) y zinc (Zn), principalmente en la época lluviosa, los cuales superaron los valores de referencia efecto umbral (TEL) en el que los efectos adversos en los organismos bentónicos ocurren ocasionalmente (Long *et al.*, 1995; Tabla 6-1). Esta estación está en la Bahía de Santa Marta, donde se ha observado afectaciones en la calidad del agua por elevadas concentraciones de Coliformes y nutrientes que se asocian a vertimientos de aguas residuales en esta zona, lo cual podría suponer que con estos residuos estarían ingresando al sistema metales pesados que se están acumulando en los sedimentos. En las estaciones de los ríos Gaira y Manzanares se registraron concentraciones de Cu y Zn, respectivamente, en la época lluviosa, que también superaron las referencias TEL (Tabla 6-1). Estos ríos circulan por las áreas urbanas de la ciudad de Santa Marta, y en su curso, son receptoras de residuos sólidos y aguas residuales.

Tabla 6-1. Concentraciones de metales pesados en tres estaciones REDCAM del Magdalena, medidos en época seca y lluviosa de 2021. Los valores con el símbolo < indican el límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM del INVEMAR. Las referencias de efectos umbral (TEL) y probables (PEL) para sedimentos marinos fueron tomadas de Buchman (2008). Sin valor de referencia (-).

Estación	Cd (µg/g)		Cu (µg/g)		Cr (µg/g)		Fe (mg/g)		Hg (ng/g)		Ni (µg/g)		Pb (µg/g)		Zn (µg/g)	
	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia
Cabotaje (calle 10)	<12,5	<12,5	29,5	48,9	<25	45	22,3	20	41,5	165	<75	<75	<15	21,7	89,9	215
F. Gaira	<12,5	<12,5	7,92	22,4	<25	29,9	22,3	21,6	6,14	20,8	<75	<75	<15	<15	63	74,5
F. Manzanares	<12,5	<12,5	14,5	13,3	27,5	26,4	36,6	25,9	28,2	19,8	<75	<75	<15	<15	92,1	127
Ref. TEL	-	-	18,7	-	52,3	-	-	-	130	-	16	-	30,2	-	124	-
Ref. PEL	-	-	108	-	160	-	-	-	700	-	43	-	112	-	271	-

En los últimos cuatro años (2020-2017), desde que se empezaron a medir metales en los sedimentos de la estación Muelle Cabotaje, todas las concentraciones de cobre determinadas han superado el valor de referencia TEL (Figura 6-9), se ha registrado la presencia de mercurio, que en los años 2017 y 2018 también superaron la referencia TEL (Figura 6-9), y el zinc que en los años 2017 y 2019 superó la referencia TEL.



Figura 6-9. Metales totales en sedimentos marinos/estuarinos medidos entre 2014 y 2020 en el departamento de Magdalena. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron de [Buchman \(2008\)](#) para sedimentos marino/estuarino. Límite de cuantificación del método (LCM) utilizado en el LABCAM.

En la estación Muelle Cabotaje, en la época seca 2021 se registraron hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) como Antraceno (7,34 ng/g), Fenantreno (34,8 ng/g), Fluoranteno (36 ng/g) y Pireno (48,8 ng/g), de los cuales ninguno superó el valor de referencia de efecto umbral TEL (Antraceno= 46,8 ng/g, Fenantreno= 86,7 ng/g, Fluoranteno= 113 ng/g, Pireno= 153 ng/g; [Buchman, 2008](#)). En las estaciones de los frentes de los ríos Gaira y Manzanares no se detectaron compuestos de HAP. Estos HAP se utilizan en colorantes, explosivos, en la elaboración de fármacos, insecticidas y conservantes o producirse por la combustión incompleta de combustibles fósiles, de los cigarrillos, etc (excepto el Antraceno que es producido industrialmente) ([PRTR, 2021](#)). La presencia de estos HAP en el ambiente es un peligro para la vida acuática por su toxicidad y capacidad de bioacumularse en crustáceos, peces, la leche, algas y moluscos ([PRTR, 2021](#)).

Por otra parte, no se detectaron residuos de los plaguicidas organoclorados y organofosforados medidos en los sedimentos de las estaciones Cabotaje, frente del río Gaira y frente del río Manzanares.

6.3 CONTAMINACIÓN POR BASURAS MARINAS EN PLAYAS TURÍSTICAS

La abundancia de basuras marinas en las playas turísticas de Santa Marta, oscilaron entre 1,1 y 7,6 ítems/m² en el muestreo de la época seca 2021, los cuales aumentaron en la época lluviosa de 2021, oscilando entre 1,2 y 13 ítems/m² (Figura 6-10). Las playas con mayor contaminación fueron Camellón y Rodadero en la época seca 2021 y Camellón y Grande en la época lluviosa 2021. En estas playas se desarrolla un turismo tradicional y se encuentra intensa actividad comercial, los cuales son fuentes de basura marina ([Garcés-Ordóñez et al., 2020a](#)). El río Manzanares que desemboca en la zona de la bahía de Santa Marta, es una fuente importante de basuras en las épocas lluviosas, la cual tendría sinergia con los aportes de turistas en las zonas de playas en temporadas de alto turismo ([Garcés-Ordóñez et al., 2020a](#)).

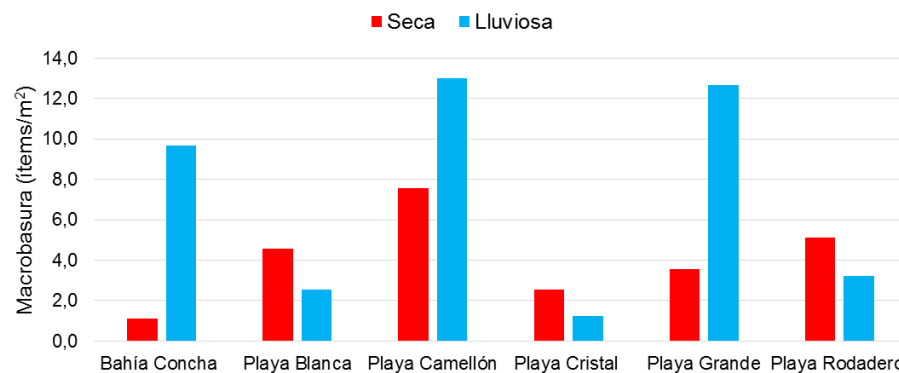


Figura 6-10. Abundancia de macrobasuras en las playas turísticas de Santa Marta, registradas en los muestreos realizados en las épocas seca y lluviosa 2021.

La playa bahía Concha también presentó alta abundancia de basuras en época lluviosa (Figura 6-10), lo cual podría responder a una alta afluencia de turistas que contribuyen con pequeñas basuras que se acumulan en la arena, y por corrientes marinas que pueden traer a esta playa basuras de otros lugares de la región y las que expulsa el río Manzanares. La playa Cristal fue

las de menor abundancia de macrobasuras en ambas épocas climáticas (Figura 6-10), esta playa se encuentra en el parque Tayrona, y aunque es de alta importancia turística, las charlas y mensajes de sensibilización que se han realizado a turistas antes de ingresar al Parque y la educación a los operadores de la playa tendrían una influencia positiva en la reducción de las basuras.

Entre los materiales de macrobasuras, en la época seca 2021 se destacaron por sus abundancias los plásticos en las playas Camellón, Bahía Concha, Blanca y Rodadero; mientras que los vidrios y los escombros fueron más abundantes en las playas Grande y Cristal, respectivamente, seguido de los plásticos (Figura 6-11). En época lluviosa de 2021, la proporción de plásticos en todas las estaciones aumentó, siendo el material más abundante en las playas evaluadas. Los plásticos, por sus características de flexibilidad, flotabilidad y bajo peso, pueden ser fácilmente transportados de un lugar a otro y por acción de las corrientes marinas acumularse en las playas.

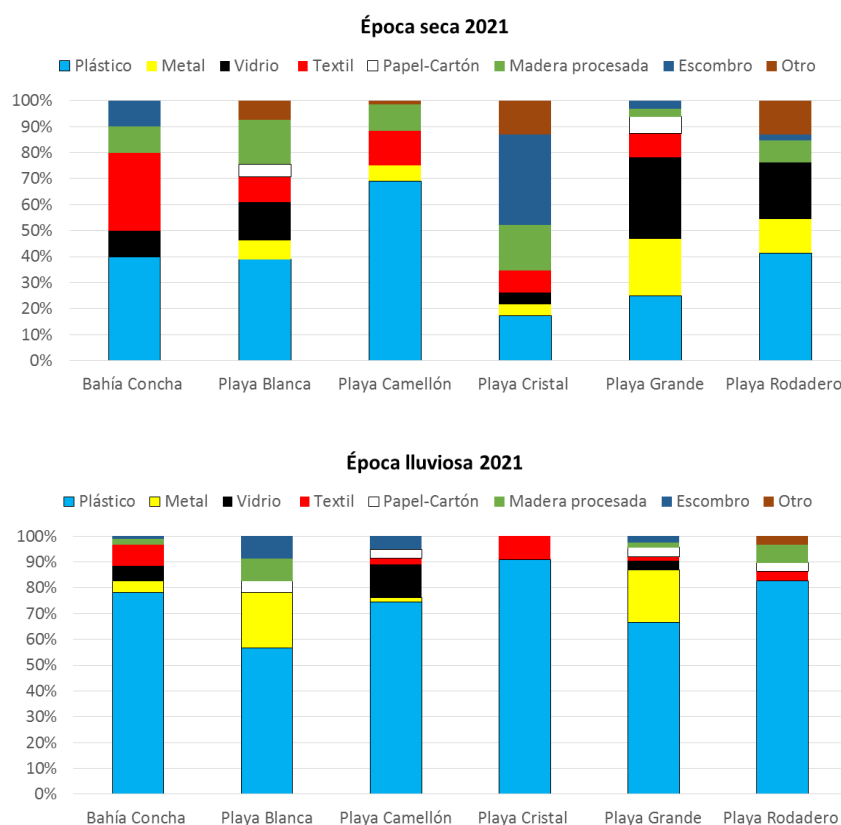


Figura 6-11. Porcentajes de representación de los diferentes materiales de las macrobasuras en las playas turísticas de Santa Marta, evaluadas en las épocas seca y lluviosa 2021.

En cuanto a los microplásticos (partículas de plásticos menores que 5 mm), en el muestreo de la época seca 2021, las abundancias en la arena oscilaron entre 0 y 128 ítems/m² y en la época lluviosa oscilaron entre 8 y 292 ítems/m² (Figura 6-12). Las playas con mayor contaminación por microplásticos fueron Concha, Grande y Camellón; en la Playa Cristal no se registraron microplásticos en la época seca 2021, pero en época lluviosa se registró una abundancia de 28 ítems/m². El comportamiento de la abundancia de microplásticos en las playas no mostró un patrón relacionado con las lluvias en todas las estaciones, por lo que se requieren de estudios

detallados incluyendo el análisis de microplásticos en aguas, las temporadas climáticas, temporadas turísticas y corrientes marinas.

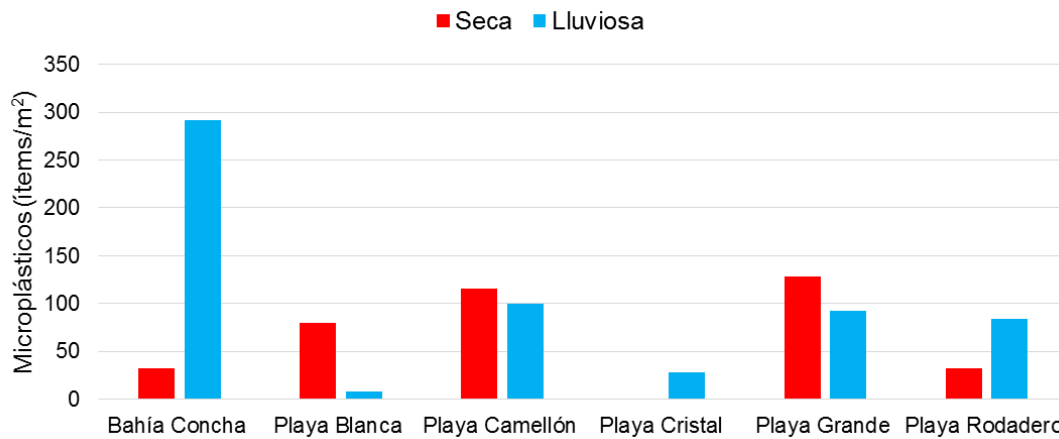


Figura 6-12. Concentración de microplásticos en las muestras de arena de las playas de Santa Marta, colectadas en época seca y lluviosa de 2021.

Las formas de los microplásticos más abundantes fueron los filamentos y los fragmentos, además se encontraron espumas y láminas, todas estas formas de microplásticos indican que provienen de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño, lo que se conoce como origen secundario. Esta composición de microplásticos coincide con otras playas turísticas de Colombia donde el origen es secundario y provienen del manejo inadecuado de residuos municipales, el turismo, las actividades de pesca y acuicultura (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2020a, 2020b). Los colores de los microplásticos más abundantes fueron los blancos (25%), transparente (20%), negro (14%), azul (14%), amarillo (12%), rojo (4%), verde (4%), marrón (4%) y multicolor (3%).

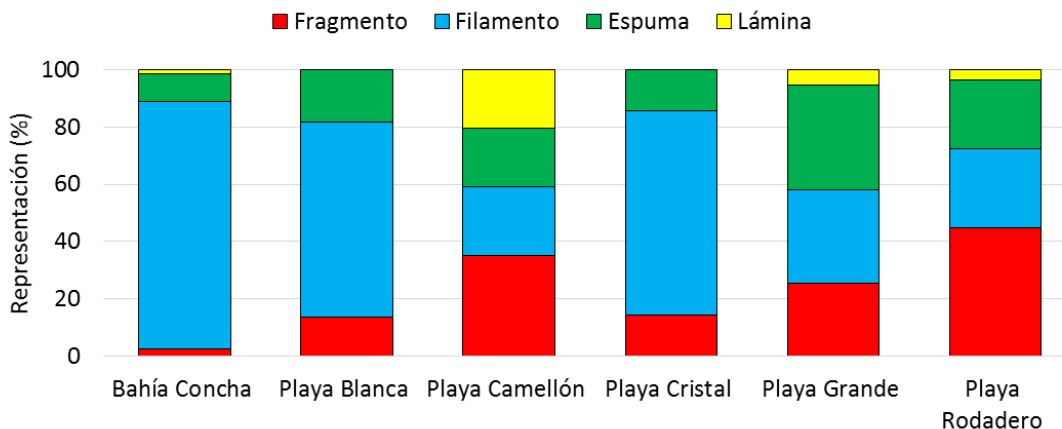


Figura 6-13. Proporción de los tipos de microplásticos en las muestras de arena de las playas de Santa Marta, colectadas en época seca y lluviosa de 2021.

6.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ El cálculo del ICAM_{PFF} mostró un deterioro de la calidad del agua para la preservación de flora y fauna en ciertas estaciones REDCAM del Magdalena durante el 2021, principalmente en las de la zona de Santa Marta.
- ❖ Estaciones Cabotaje (calle 10), frente río Manzanares, Marina – Bahía Santa Marta, playa Batallón, Emisario 8, frente río Gaira, playa Salguero y playa Taganga monitoreadas en la zona de Santa Marta, y la playa Buritaca presentan aguas de calidad inadecuada y pésima para la preservación de flora y fauna por altas concentraciones de Coliformes Termotolerantes y nutrientes inorgánicos disueltos, que en el caso de la zona de Santa Marta se asocian directamente a vertimientos de aguas residuales, mientras que en la playa Buritaca podría responder a vertimientos de aguas residuales y otras fuentes de contaminación asociadas al aumento de las actividades recreativas de sol y playa.
- ❖ Las playas turísticas Buritaca, Rodadero, Cabotaje Calle 10, Batallón, Blanca, Municipal, Chengue, Taganga y Salguero tuvieron aguas con condiciones microbiológicas inadecuadas para su uso recreativo, al presentar concentraciones de Coliformes por encima del criterio de calidad para el uso recreativo del agua según la normatividad colombiana, siendo históricamente las playas con mayor recurrencia en el incumplimiento del criterio de calidad. Se requiere de un estudio puntual para cuantificar las afectaciones de esta contaminación en el turismo y la percepción de los turistas sobre la calidad de las playas, que contribuya al manejo y mejoramiento de su calidad ambiental.
- ❖ Los sedimentos de la estación Cabotaje (calle 10) está recibiendo aportes de metales pesados, incluyendo Cu, Hg y Zn que superan la referencia internacional de posibles efectos en la fauna bentónica, y que estaría relacionada con vertimientos de aguas residuales que se presenta en esta estación de la bahía de Santa Marta.
- ❖ Las épocas climáticas influyen en la contaminación por basuras marinas en las playas de Santa Marta, siendo los plásticos los más abundantes, y encontrándose una posible asociación de las altas cantidades de plásticos y las lluvias. Se requiere de mayor investigación para comprender el comportamiento de los microplásticos en las playas, incluyendo mediciones espacio temporales, mediciones en aguas y análisis de corrientes marinas.
- ❖ La calidad de las aguas marinas y estuarinas del departamento del Magdalena, ha sido afectadas por los vertimientos de aguas residuales, que incrementan las concentraciones de nutrientes y Coliformes Termotolerantes, que requieren atención y se deben realizar acciones por parte de los entes territoriales (distrito de Santa Marta y municipios del departamento del Magdalena), entidades del orden local, regional y nacional, así como la comunidad misma, de igual forma dar continuidad al fomento de la educación ambiental a las comunidades; con el fin de prevenir la contaminación y mitigar los impactos ambientales que se estarían generando en la zona de Santa Marta.

7. DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO

El departamento del Atlántico se sitúa en el Caribe colombiano y su zona costera abarca parte de los municipios de Barranquilla, Puerto Colombia, Tubará, Juan de Acosta y Piojó, en los cuales, al 2020 se reportó una población humana de ~1.376.586 habitantes ([DANE, 2021](#)). En la zona costera del Atlántico están presentes ecosistemas de playas, manglares, estuarios y lagunas costeras, entre otros ([INVEMAR, 2007](#)). 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 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) (Figura 7-1; [Vivas-Aguas et al., 2015](#)).

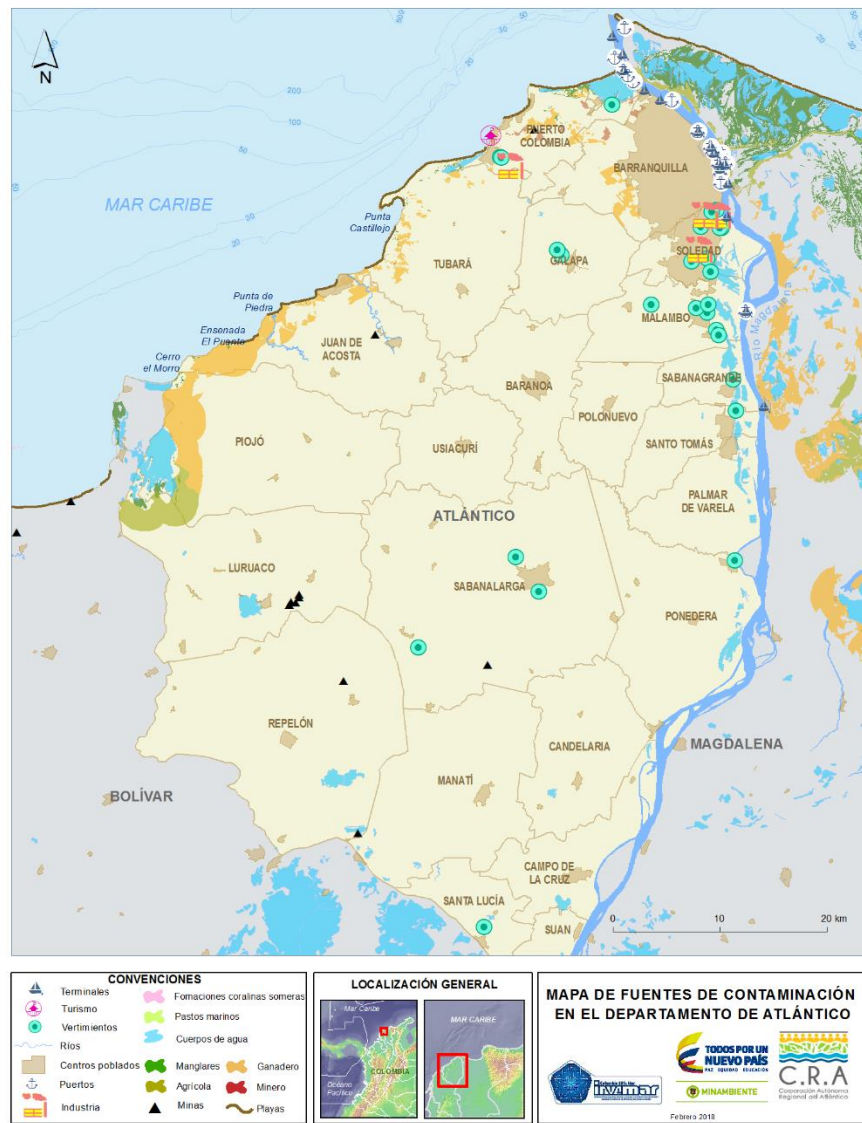


Figura 7-1. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Atlántico, Caribe colombiano.

En el departamento Atlántico, la REDCAM tiene 18 estaciones de monitoreo distribuidas en tres zonas (Figura 7-2), la **zona río Magdalena** que comprende parte de la cuenca baja del río Magdalena y la ciénaga de Mallorquín, donde se desarrollan actividades portuarias, agrícolas y se vierten aguas residuales provenientes de Barranquilla y Soledad; la **zona Puerto Colombia** que abarca la franja costera del municipio de Puerto Colombia, donde se desarrollan actividades turísticas; y la **zona Tubará-Acosta**, que corresponde a la franja costera de los municipios de Juan de Acosta y Tubará, en las cuales se desarrollan actividades turísticas en playa y se encuentran algunas ciénagas y playas de interés turístico.

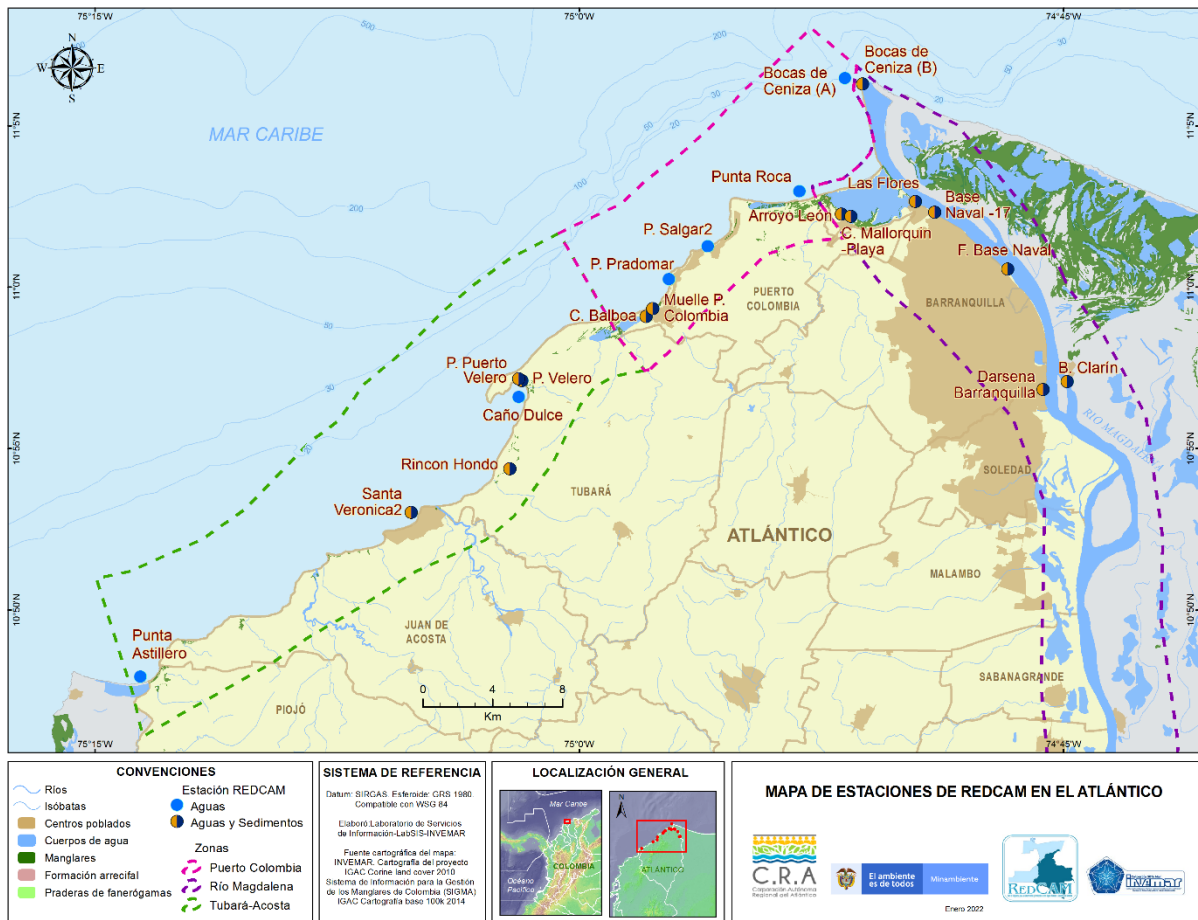


Figura 7-2. Mapa con las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Atlántico. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y los puntos bicolors (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimentos superficiales. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

Desde el 2001, el monitoreo de la calidad del agua marino costera del Atlántico, se ha realizado en cooperación entre el INVEMAR y la Corporación Autónoma Regional del Atlántico –C.R.A., en 17 estaciones marinas y costeras. En el año 2020, debido al aislamiento obligatorio para prevenir el contagio y propagación de la COVID-19 decretado por el Gobierno Nacional, no se realizaron monitoreos de calidad del agua. Por lo cual, el presente reporte contiene información del comportamiento de la calidad del agua desde 2001 hasta 2019.

7.1 CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS

7.1.1 Calidad de agua para la preservación de flora y fauna

El análisis histórico de la salinidad en las estaciones del departamento del Atlántico, basado en la clasificación propuesta por [Knox \(2001\)](#) mostró que el 53 % de las estaciones están en aguas marinas que corresponden a playas, el 12 % están ubicadas en áreas estuarinas que corresponde a dos (2) estaciones en ciénaga Mallorcaín, y el 35 % fueron de agua dulce (Figura 7-3). A partir de estos resultados, solo a 11 estaciones monitoreadas actualmente se les ha calculado el ICAM para la preservación de flora y fauna.

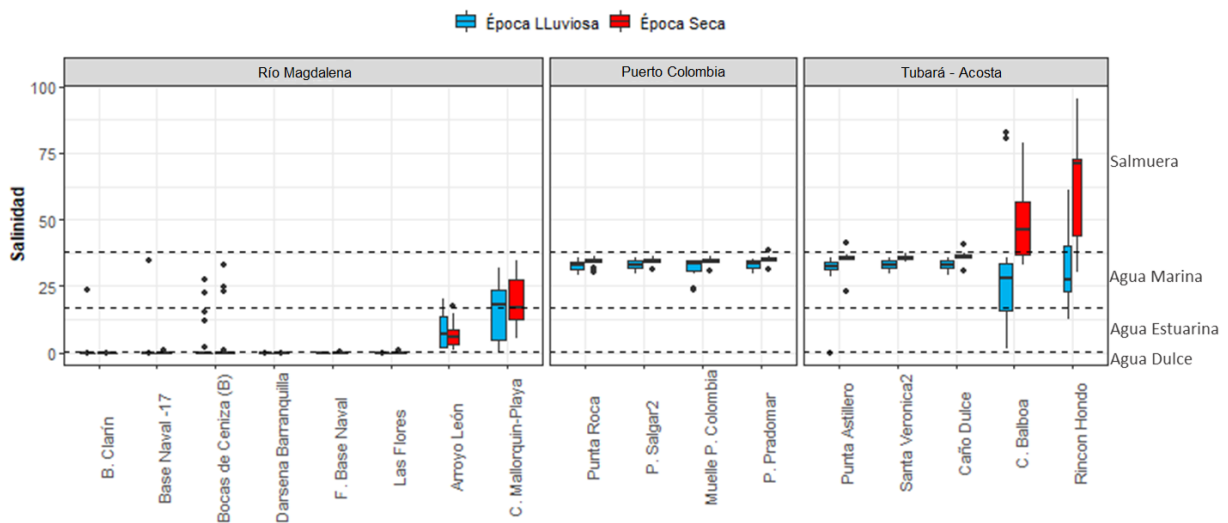


Figura 7-3. Gráfico de caja de la variación histórica (2001-2019) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Atlántico, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y 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).

El cálculo del ICAM_{PF} en los 19 años de información, ha mostrado una alta variabilidad de la calidad del agua marina y costera, con cambios interanuales (Figura 7-4), sin embargo, en el año 2006 todas las estaciones marcaron entre inadecuada y pésima calidad y desde entonces se ha producido un aumento fluctuante de condiciones entre aceptable, inadecuada y pésima. El balance histórico mostró que el 8,5% ha estado en condición pésima, 29,4% inadecuada, 24,4% aceptable, 35,4 % adecuada y el 2,2% óptima. Con recurrencia de condiciones entre inadecuada y pésima en bocas de ceniza y muelle Puerto Colombia, y desde el año 2018 playa Salgar y playa Pradomar han mostrado condiciones inadecuadas en algunos momentos de muestreo (Figura 7-5).

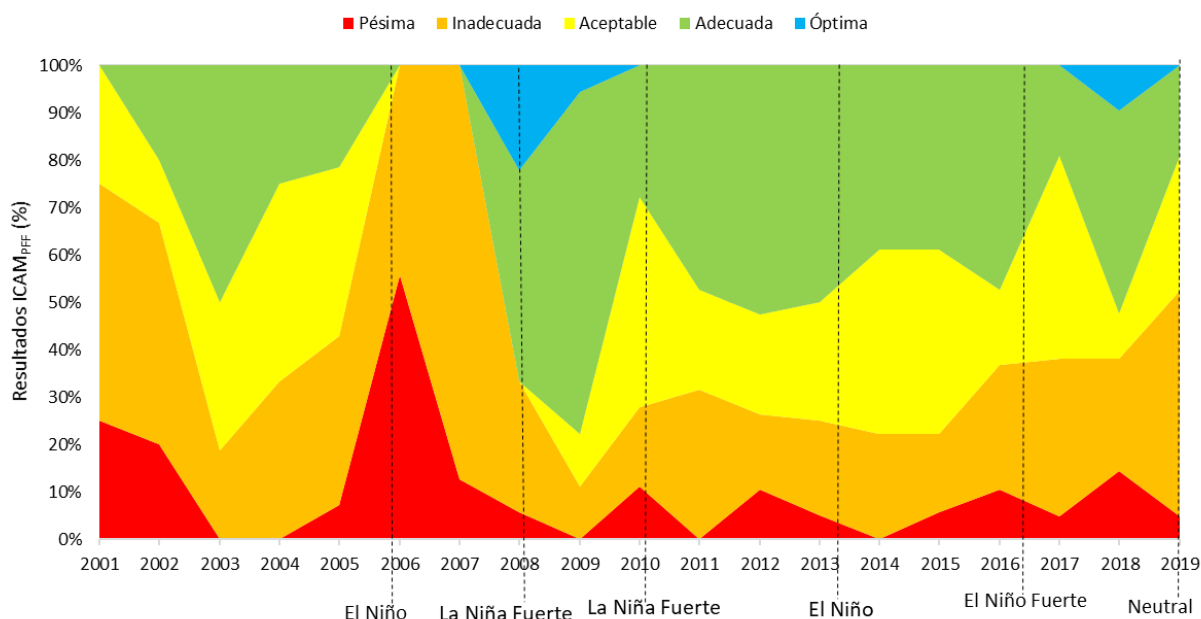


Figura 7-4. Evolución histórica del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PFF}) en el periodo 2001 a 2019 en el departamento Atlántico. Las líneas transversales negras indican años con una incidencia del evento El Niño y La Niña según NOAA (2020).

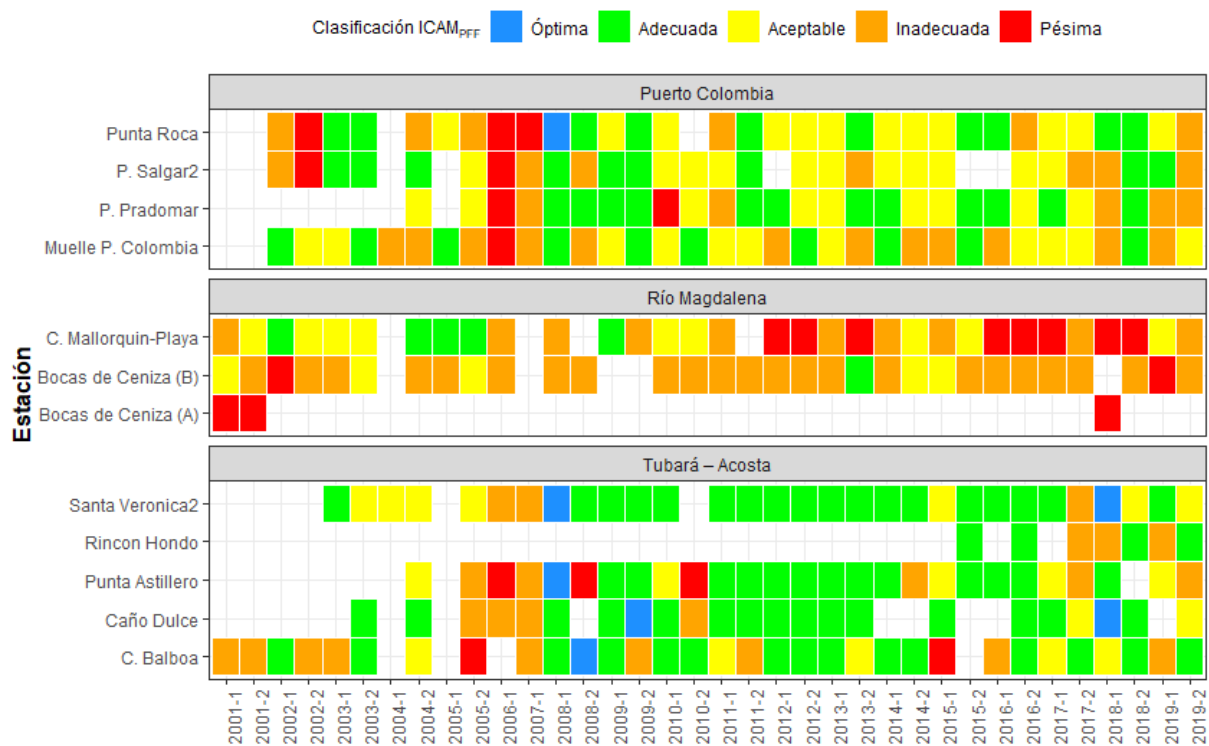


Figura 7-5. Resultados históricos de la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las estaciones REDCAM en Atlántico, entre los años 2001 al 2019.

7.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

La calidad microbiológica de las aguas en las playas turísticas de playa puerto Velero, Punta Astillero, Caño Dulce, Muelle puerto Colombia, playa Salgar y Santa Verónica, se analizó a partir de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE) (Figura 10-7), contrastados con los valores de referencia de límites permisibles para uso recreativo de contacto primario de <200 NMP/100MI de CTE, <1000 NMP/100mL (MinAmbiente, 2015) y <100 UFC/100mL (Unión Europea, 2006). El análisis histórico muestra que en la estación muelle puerto Colombia las concentraciones de CTE han aumentado con el tiempo, incumpliendo con las referencias para contacto primario establecidas en la legislación nacional (MinAmbiente, 2015).

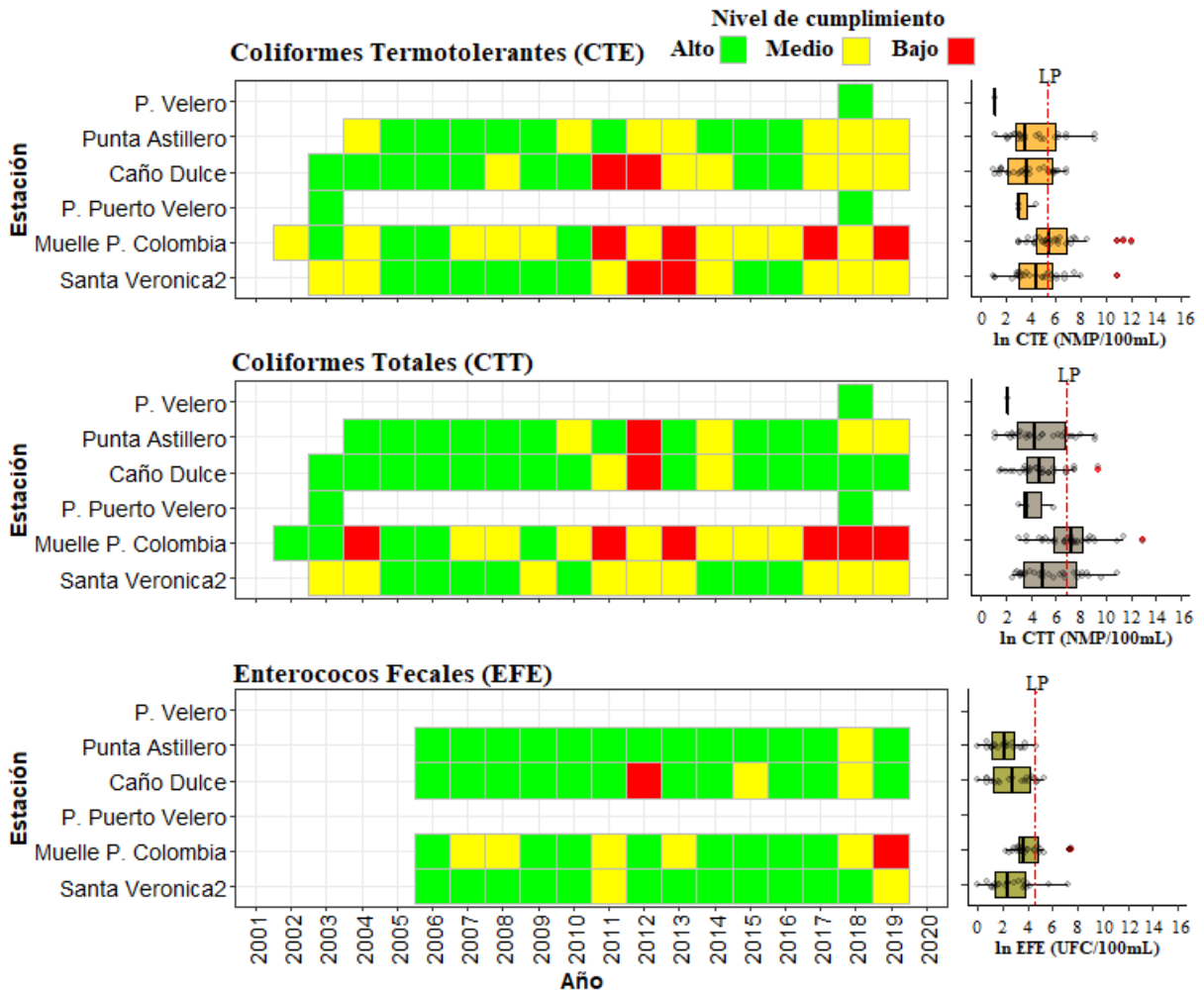


Figura 7-6. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Atlántico. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permissible; 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 permissible; Bajo, cuando menos del 50% (<50%) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permissible. LP: Límite Permissible

7.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

Entre los años 2014 y 2019 se midió granulometría, metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos y plaguicidas organoclorados y organofosforados en sedimentos de las estaciones en el río Magdalena (Base naval – 17, Darsena Barranquilla, Las Flores y Caño Clarin), muelle Puerto Colombia, Rincón Hondo, Santa Veronica, Ciénaga Balboa y Arroyo León.

Entre 2014 y 2019, la granulometría de la mayoría de las estaciones fue de tipo de sedimento lodoso (limo + arcilla), con tamaños medios del grano menores a 63 μm (Figura 7-7). Por otra parte, algunas estaciones mostraron cambios entre 2015 y 2018, como es el caso de Rincón Hondo que varió entre arena fina (125 μm – 250 μm) y arena media (granos menores a 63 μm).

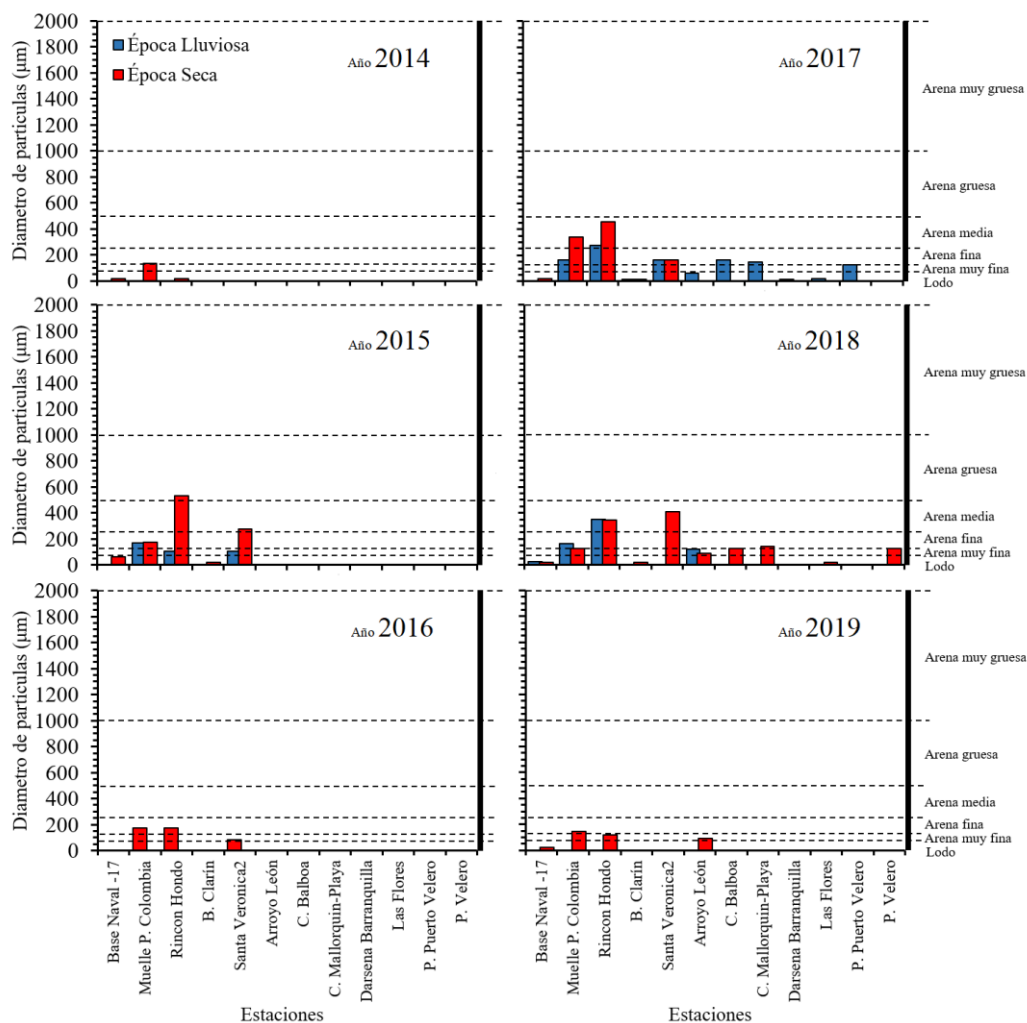


Figura 7-7. Tamaño medio de partícula del sedimento (μm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas entre 2014 y 2019 en el departamento de Atlántico. Las barras rojas y azules diferencian la época seca y lluviosa, respectivamente. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

El contenido de materia orgánica (MO) en sedimentos de las estaciones ubicadas en la ciénaga Mallorquín (base Naval – 17 y arroyo León) analizados entre 2014 y 2018 presentaron los mayores registros en época lluviosa (2016) con 120 mg/g en base Naval-17 y 45mg/g en época lluviosa (2017) en arroyo León (Figura 7-8). Esta última estación se ubica en medio de bosques de manglar con presencia de asentamientos humanos.

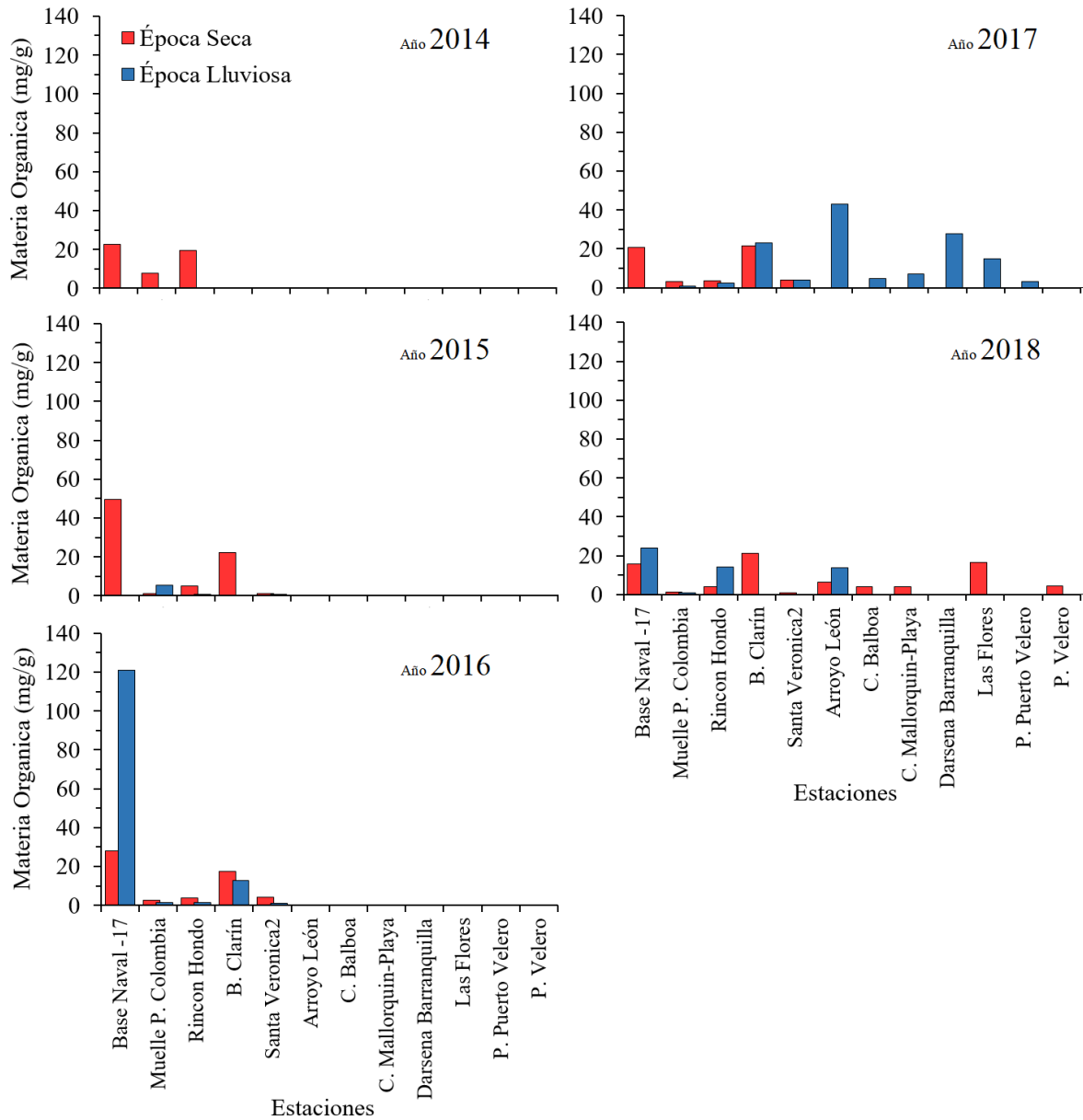


Figura 7-8. Materia Orgánica (mg/g) de las muestras de sedimentos recopiladas entre 2014 y 2018, en las estaciones del departamento de Atlántico. Las barras cyan y azules diferencian la época de baja precipitaciones y altas precipitaciones, respectivamente.

Los metales analizados en sedimentos, Cd y Ni han estado por debajo del límite de cuantificación del método usado en el LABCAM de INVEMAR. Las concentraciones de Cr y Zn, en la estación Base Naval - 17, estuvieron por encima del valor de referencia de efectos umbral (TEL); y en la estación Muelle Puerto Colombia, en el muestreo del primer semestre de 2019, la concentración de Cr fue 303 $\mu\text{g Cr/g p.s.}$, que está por encima del valor de referencia de efectos umbral (TEL) para aguas marinas; y la concentración de Zn, por encima del valor de referencia de efectos probables (PEL). Es importante continuar monitoreando estos metales para conocer su comportamiento, ya que su presencia ha sido recurrente en algunas estaciones.

7.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ El análisis histórico del ICAM_{PPF} por estaciones, demostró la recurrencia de condiciones entre inadecuada y pésima en las estaciones Bocas de Ceniza, muelle Puerto Colombia, y desde el año 2018 playa Salgar y playa Pradomar, condiciones que se intensifican durante los años La Niña, debido al incremento de las precipitaciones que favorecen el transporte de residuos líquidos y sólidos que son transportados por los arroyos intermitentes y por el río Magdalena.
- ❖ La calidad microbiológica de las playas de interés turístico ha sido fluctuante, para el muestreo del primer semestre de 2019 mostró que todas las playas tenían condiciones de calidad adecuadas, con excepción de las playas de puerto Colombia (muelle), Pradomar y Punta Roca, que presentaron altas concentraciones de los Coliformes Termotolerantes, alcanzando hasta 1.600 NMP/100 ml, superando las concentraciones permitidas por la legislación colombiana (hasta 200 NMP/100 ml).
- ❖ La calidad de los sedimentos en términos de metales, en general es adecuada ya que las concentraciones de Cu, Cr, Pb, Zn, Hg y Fe, estuvieron por debajo de los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y para efectos probables (PEL), con excepción de la estación Base Naval 17, donde las concentraciones de Cr y Zn superaron los valores de referencia TEL; y la estación Muelle Puerto Colombia, donde en el primer semestre del 2019 se registraron concentraciones de Cr que superaron el valor PEL y de Zn que superaron el valor TEL. En estas dos últimas estaciones, es necesario evaluar la biodisponibilidad de los metales y los factores que la controlan.

8. DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR

El departamento de Bolívar se ubica en el Caribe colombiano y su zona costera comprende parte del territorio de los municipios de Cartagena y Santa Catalina, donde habitan aproximadamente 1.043.684 personas ([DANE, 2021](#)). Los ecosistemas marinos más representativos del departamento son los arrecifes coralinos de las islas de Rosario y San Bernardo, los manglares, pastos marinos, playas de arena y humedales costeros ([IDEAM et al., 2007](#)). El principal tributario de aguas continentales a la zona costera es el Canal del Dique, un brazo artificial del río Magdalena. La bahía de Cartagena es una de las zonas de mayor interés debido a las problemáticas ambientales derivada de la contaminación, la cual consta de dos partes, una bahía externa conectada con el mar Caribe a través de dos bocas (Bocachica y Bocagrande) y una bahía interna ubicada en la parte norte, que no está directamente comunicada con el mar ([Cañón et al., 2007](#)).

Las fuentes de contaminación marina en el departamento son los residuos de las actividades industriales, marítima portuaria, el turismo tradicional, agropecuarias y los residuos líquidos y sólidos de las poblaciones de Cartagena (Figura 8-1; [Troncoso et al., 2009](#)).

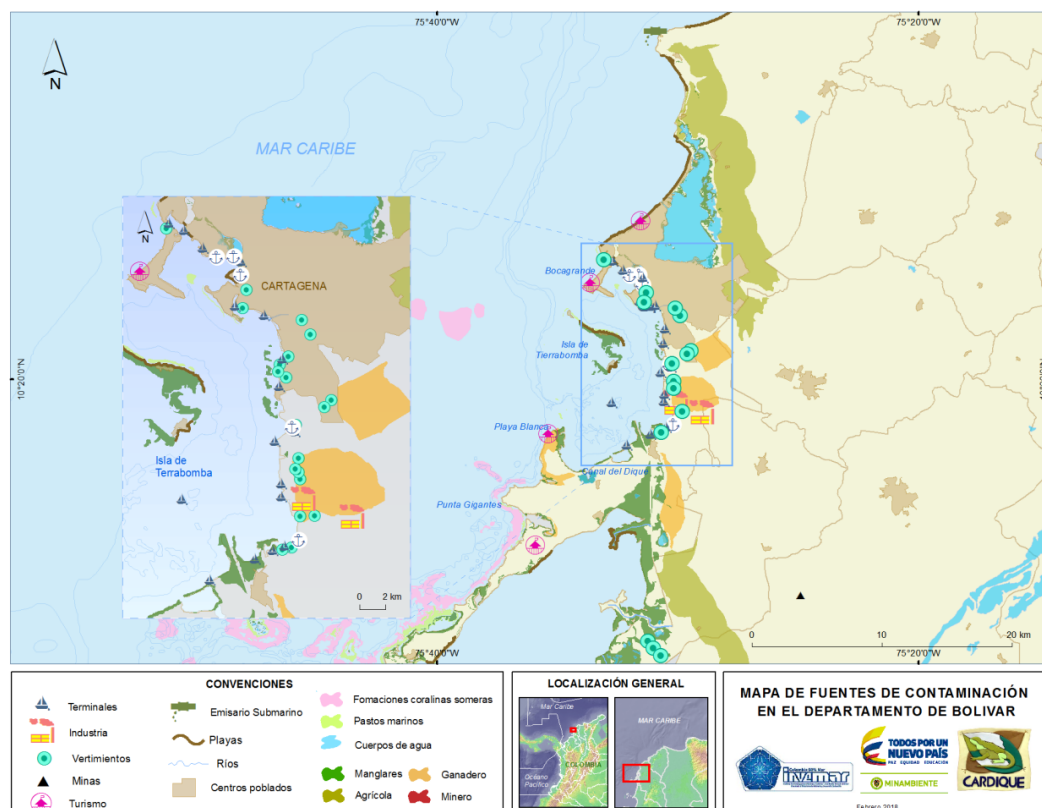


Figura 8-1. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Bolívar, Caribe colombiano.

En Bolívar, la REDCAM cuenta con 42 estaciones de monitoreo que se distribuyen en cinco zonas (Figura 8-2), 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 Barú, donde se encuentran áreas coralinas de gran importancia ambiental (Alonso *et al.*, 2015).

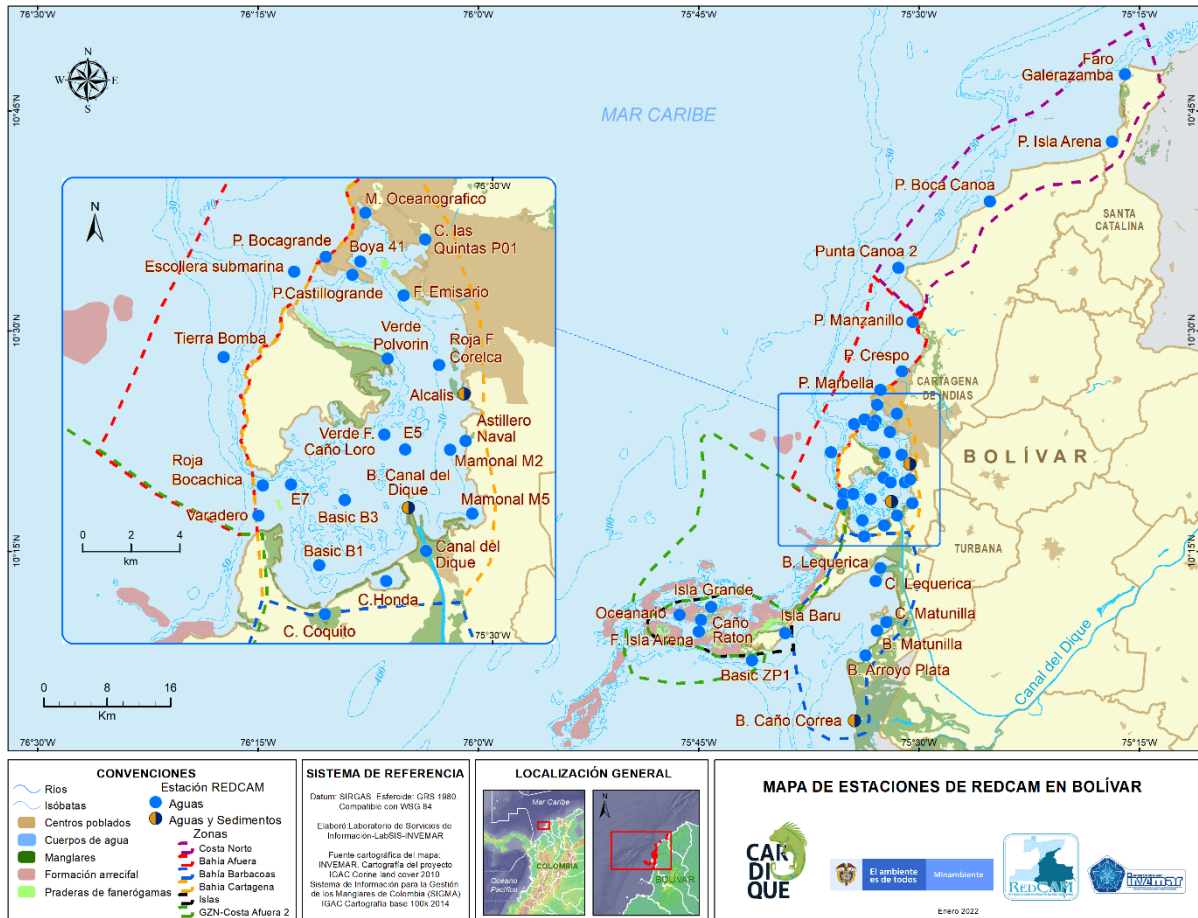


Figura 8-2. Mapa con las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y los puntos bicolors (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimento. Los polígonos punteados enmarcan las zonas de muestreo.

Desde el 2001, el monitoreo REDCAM en Bolívar es realizado por la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique –CARDIQUE, con el apoyo del INVEMAR. En el año 2020 se logró realizar un monitoreo de la calidad del agua marina entre los días 10 y 11 de marzo, antes del aislamiento obligatorio para reventar el contagio y propagación de la COVID-19 decretado por el Gobierno Nacional. Por lo cual, el presente reporte contiene información del comportamiento de la calidad del agua desde 2001 hasta 2021.

8.1 CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS

8.1.1 Calidad de agua para la preservación de flora y fauna

La calidad del agua marina y costera en el departamento de Bolívar se encuentra influenciada por vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales y vertimientos de hidrocarburos en sus diferentes formas que generan contaminación en la bahía. Esto, relacionado con la gran confluencia de actividades productivas que se desarrollan como el turismo, la pesca artesanal, la industria y los servicios portuarios. En la bahía ha aumentado el tráfico marítimo comercial que ha requerido de dragados para mantener la navegabilidad en la bahía. Por otra parte, la bahía de Cartagena tiene un gran aporte de aguas continentales a través del canal del Dique ([Cañón et al., 2007](#)), los cuales descargan gran cantidad de sedimentos que influyen en la calidad ambiental de la bahía y afectan los ecosistemas allí presentes ([Restrepo y Tosis, 2017](#); [Tosis et al., 2017](#)). A su vez a través de los caños Lequerica y Matunilla, brazos del canal del Dique, la calidad ambiental de la bahía de Barbacoas se afectada por el aporte de sedimentos.

Según la escala de salinidad del agua sugerida por [Knox \(2001\)](#) y los registros históricos de este parámetro en el departamento de Bolívar, las aguas en las estaciones REDCAM de las zonas Costa Norte, Bahía Afuera e Islas, se clasifican como agua marina (Figura 8-3), estas estaciones se encuentran más alejadas de la incidencia de aportes de aguas continentales. Las estaciones Verde F. Caño Loro, Astillero Naval, Roja F. Corelca, F. Emisario, ubicadas en la bahía de Cartagena, presentan una mayor variación histórica en cuanto a su salinidad, reportándose en épocas lluviosas aguas con características estuarinas y en época seca aguas con características marinas por estar influenciadas por los aportes del Canal del Dique y escorrentías urbanas (Figura 8-3).

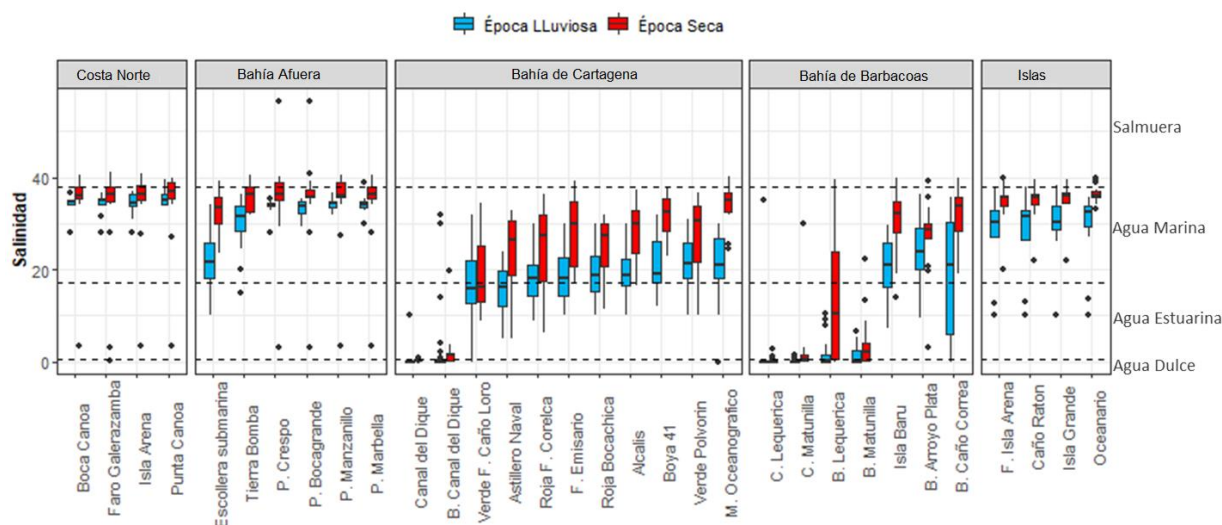


Figura 8-3. Gráfico de caja de la variación histórica (2001-2020) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los 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).

En la Bahía de Cartagena, la estación Boca del Canal del Dique históricamente ha presentado un comportamiento de agua dulce por el gran aporte de aguas continentales provenientes del Canal de Dique; asimismo, en la Bahía de Barbacoas el agua de las estaciones caño Matunilla y Lequerica se ha clasificado como agua dulce (Figura 8-3).

El cálculo del ICAM_{PFF} en las estaciones marinas y estuarinas que cumplen con el mínimo de variables requeridas, ha mostrado históricamente (2001-2021) que el 4,6% de las estaciones tuvieron calidad del agua óptima, el 42,2% adecuada, el 23,6% aceptable, 24,6% inadecuada y el 5,0% de calidad pésima para la preservación de flora y fauna (Figura 8-4).

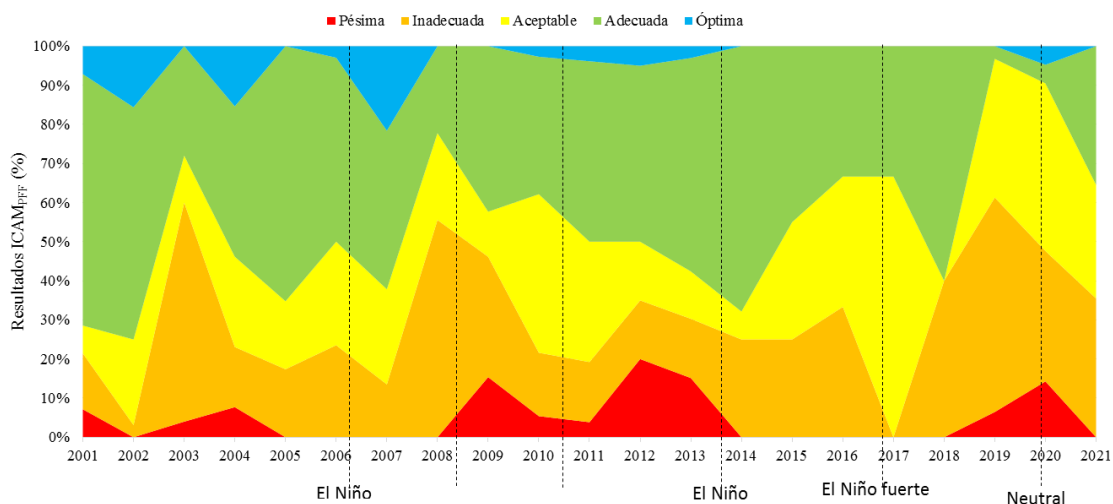


Figura 8-4. Evolución histórica del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PFF}) en el periodo 2001 a 2021 en el departamento Bolívar. Las líneas transversales negras indican años con una incidencia del evento El Niño y La Niña según NOAA (2020) y los boletines de seguimiento al ciclo ENOS del IDEAM (2021).

Cabe destacar que las condiciones inadecuadas han predominado en la zona Bahía Cartagena, principalmente en las estaciones Verde F. Caño Loro, Astillero Naval y Roja F. Corelca, estaciones que están bajo la influencia de la desembocadura del Canal del Dique, actividades industriales, vertimientos de aguas residuales, tránsito marítimo, entre otros. En estas estaciones se encontraron concentraciones de nitratos y ortofosfatos elevadas; además, concentraciones de CTE fueron mayores del criterio de calidad (200 NM/100mL, [MinAmbiente, 2015](#)) y niveles de oxígeno disuelto mayores a 10 mg O₂/L.

Los resultados del ICAM_{PFF} en Bolívar y principalmente la zona bahía de Cartagena, muestran la influencia que tienen las precipitaciones sobre la calidad del agua en la zona costera. El incremento de las lluvias produce un aumento de las escorrentías urbanas y agrícolas que arrastran todo tipo de residuos contaminantes, así como las descargas del río Magdalena (Canal del Dique), generando efectos sobre las propiedades fisicoquímicas del agua, por los contenidos de nutrientes y contaminantes ([Ricaurte y Bastidas, 2017](#)). Este hecho se evidenció entre los años 2007 a 2008 y de 2009 a 2012, años afectados por el fenómeno climático La Niña, durante los cuales se registraron fuertes precipitaciones (Figura 8-4; [IDEAM, 2017](#)). Por otro lado, en los años 2012 y 2014, marcados por el fenómeno climático El Niño, años caracterizados por la disminución de las precipitaciones ([IDEAM, 2017](#)), se observó una influencia de manera positiva en la calidad de las aguas marinas y costeras al aumentar el porcentaje de sitios de

muestreo con aguas de calidad adecuada. Desde el año 2020 han predominado condiciones de neutralidad, sin embargo, en el año 2021 iniciaron condiciones de un fenómeno La Niña.

En el análisis histórico detallado para las estaciones del departamento de Bolívar, se observa la recurrencia de calidad inadecuada de las estaciones playa Marbella, Escollera submarina, Astillero Naval, Alcalis, boya roja frente Corelca (Figura 8-5). Esta condición de calidad inadecuada ha estado determinada por las altas concentraciones de nitratos, ortofosfatos y coliformes termotolerantes.

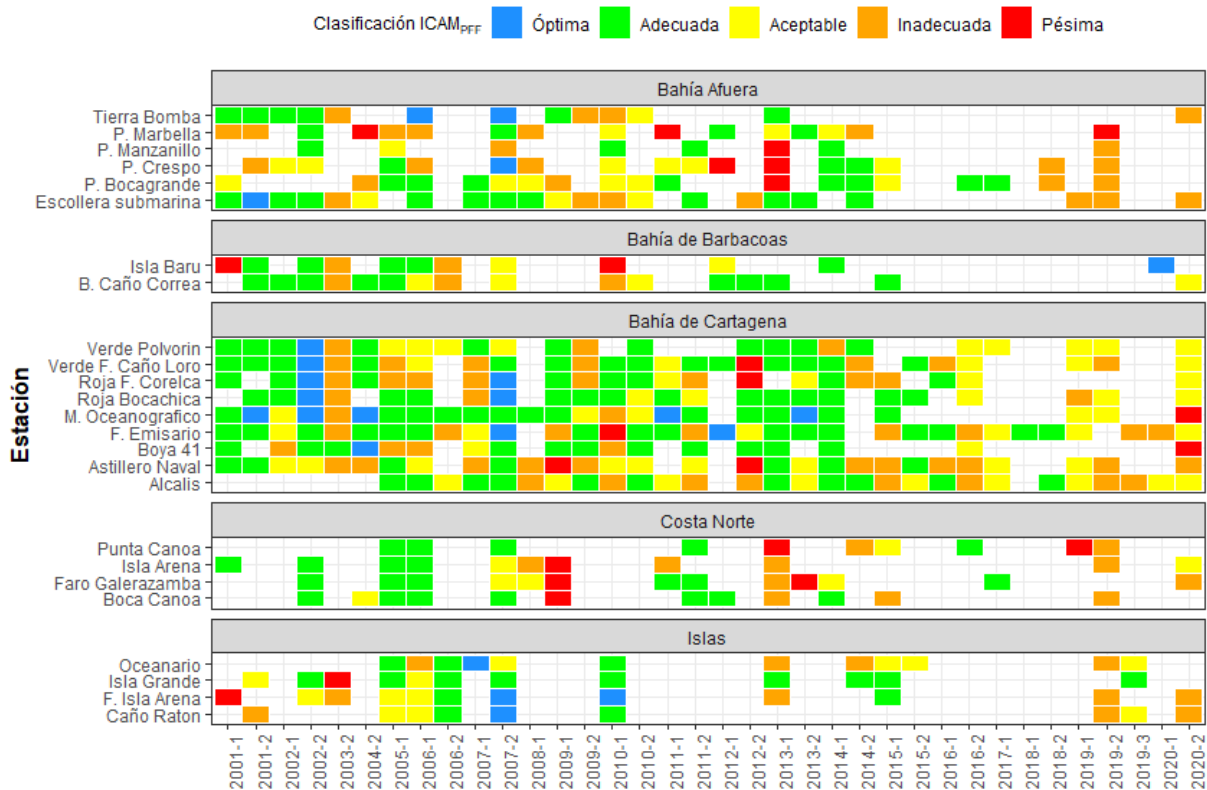


Figura 8-5. Resultados históricos de la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las estaciones REDCAM en Bolívar, entre los años 2001 al 2020.

Para el año 2021, la estimación los subíndices del ICAM_{PFF}, se realizó con la información del muestreo realizado por CARDIQUE en el mes de septiembre 2021. Se evaluaron 31 estaciones que cumplían con el mínimo de seis parámetros medidos. Los resultados de la aplicación del ICAM_{PFF} para el muestreo en septiembre de 2021, mostraron que la calidad del agua superficial del 35 % de las estaciones evaluadas fue adecuada, el 29 % fue aceptable y el 35 % fue inadecuada (Figura 8-6).

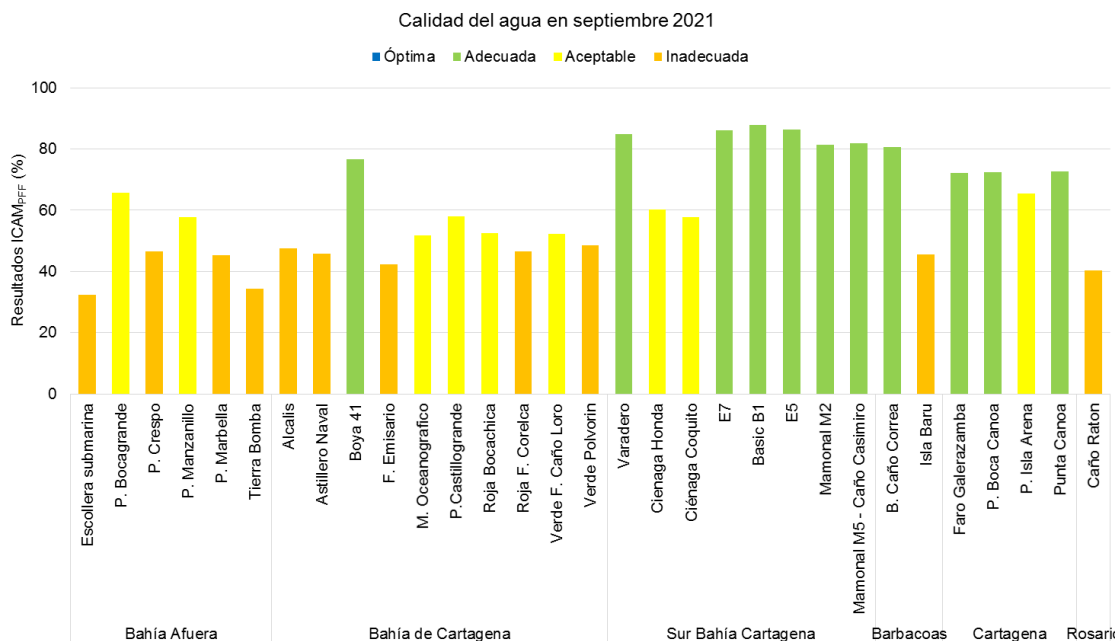


Figura 8-6. Calidad de las aguas marinas y estuarinas de las estaciones REDCAM de Bolívar, en el muestreo de la época seca 2021, evaluada con el ICAM_{PFF}.

En las estaciones con calificación inadecuada del agua se registraron altas concentraciones de nitratos que califican como condición pésima, ortofosfatos en condiciones aceptable en agua marina, sólidos suspendidos totales en calidad entre aceptable e inadecuada en las estaciones de agua marina y condiciones aceptables de CTE en algunas estaciones en agua estuarina y marina. Esta información indica que es necesario tomar acciones frente las fuentes de contaminación persistentes en las aguas superficiales de la zona marina y costera de Bolívar, las cuales contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas marinas y costeras para la preservación de flora y fauna.

8.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

Los niveles de cumplimiento de la calidad microbiológica de las aguas en las estaciones de Caño Ratón, Isla Barú, Punta Canoa, Boca Canoa, Isla Arena y de las playas turísticas de Isla Grande, Bocagrande, Marbella, Crespo y Manzanillo, se analizaron a partir de las concentraciones de CTT, CTE y EFE, contrastados con los valores de referencia de límites permisibles para uso recreativo de contacto primario de <200 NMP/100 ml de CTE, <1000 NMP/100mL de CTT ([MinAmbiente, 2015](#)) y <100 UFC/100mL de EFE ([Unión Europea, 2006](#)).

Desde el año 2001 las concentraciones de CTE, CTT y EFE, han mantenido un comportamiento homogéneo, con niveles de cumplimiento alto, lo cual indica que la calidad del agua es apta para el uso recreativo de los bañistas (Figura 8-7). Sin embargo, el análisis histórico muestra que durante el año 2010 en las estaciones de las playas turísticas Bocagrande, Marbella, Crespo y Manzanillo, el nivel de cumplimiento de la calidad microbiológica fue baja para EFE y que, para este mismo año en las estaciones de la Playa Bocagrande y Marbella la calidad microbiológica en relación a CTE fue baja. Estos resultados se relacionan con la época de muestreo, ya que durante este año las muestras en las playas de Cartagena se colectaron la semana posterior a la Semana Santa ([Vivas-Aguas et al., 2010](#)), donde la afluencia de turistas

es alta y puede ser un factor determinante en la calidad de las aguas recreativas, contribuyendo con el incremento de las concentraciones microbianas en las playas ([Elmir et al., 2007](#); [Sunderland et al., 2007](#)). A su vez, en el mes de abril del año 2010 las lluvias predominaron por encima de los valores normalmente esperados ([IDEAM, 2010](#)), lo cual genera el arrastre y resuspensión de contaminantes retenidos en los suelos hacia los cuerpos de agua ([Vivas-Aguas et al., 2010](#)).

En el año 2013, todas las estaciones de muestreo para determinar la calidad microbiológica del agua, a excepción de Isla Barú, presentaron un nivel de cumplimiento medio (Figura 8-7). Esto se atribuye a que durante los meses que se recolectaron las muestras, marzo y diciembre, el [IDEAM \(2013a; 2013b\)](#) reportó lluvias que estuvieron por encima de la media, las cuales pueden facilitar el ingreso de microorganismos CTT y CTE provenientes de aguas residuales sanitarias y el incremento de sus concentraciones en el agua.

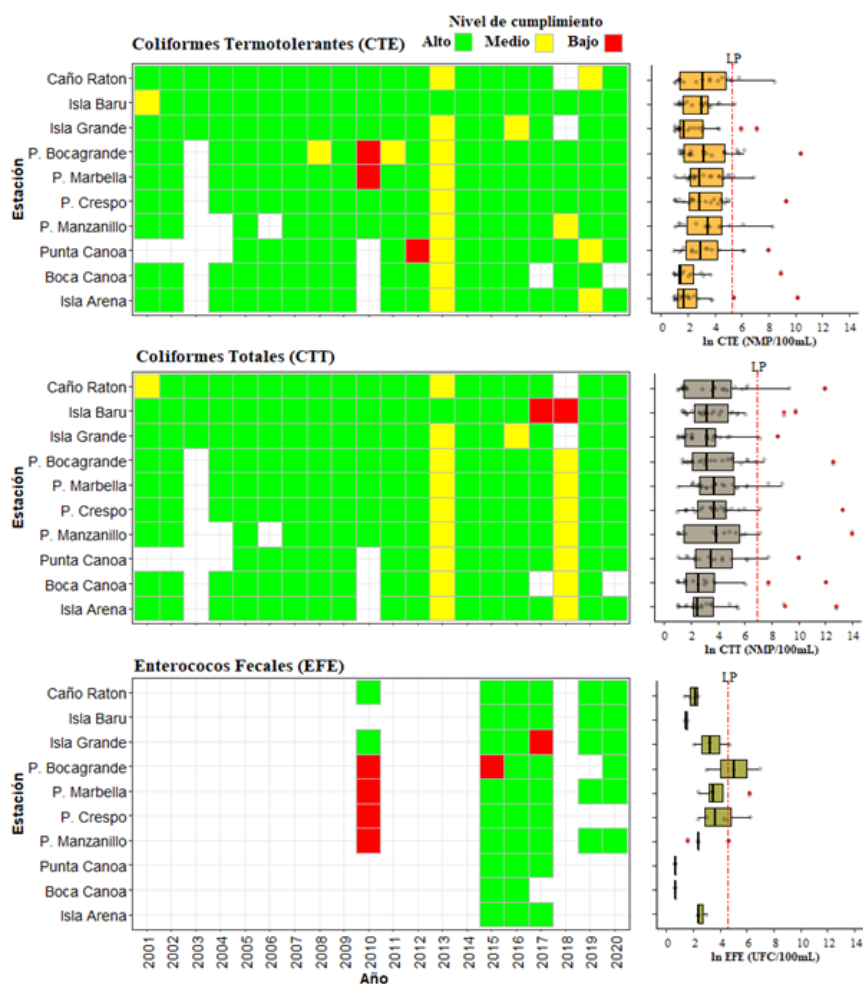


Figura 8-7. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Bolívar. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 50 y $< 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Bajo, cuando menos del 50% ($< 50\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. LP: Límite Permissible.

8.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

A continuación, se describe la calidad del sedimento, determinada mediante el análisis de las variables, Materia Orgánica (MO), metales totales (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, Fe y Hg) e hidrocarburos del petróleo.

El contenido de MO en las muestras recopiladas entre 2014 y 2020 para Álcalis, Boca del Canal del Dique y Caño Correa fluctuó entre 0,1 y 32,3 mg/g (Figura 8-8). En general, los mayores registros se presentaron en época lluviosa del año 2019 en las estaciones Álcalis y Boca Caño Correa; lo cual puede estar asociado al incremento de los aportes de MO que ingresaron por las lluvias del mes de octubre (mes en el cual se recolectaron las muestras), que estuvieron por encima de los promedios históricos de precipitaciones en el departamento de Bolívar ([IDEAM, 2019](#)). Entre épocas climáticas, históricamente en todas las estaciones en el periodo 2014 - 2020, se registraron mayores concentraciones de MO en la época lluviosa (Figura 8-8), cuando el cauce del Canal de Dique y del caño Correa ha aumentado transportando residuos orgánicos que posteriormente se acumulan en los sedimentos. Por otro lado, el análisis histórico indica que en el transcurso del tiempo el contenido de MO en las tres estaciones ha aumentado, en época de lluvias de 2014 y 2015 se registraron concentraciones de 1,3 mg/g, 0,4 mg/g y 0,9 mg/g en las estaciones Álcalis, B. Canal del Dique y B. Caño Correa respectivamente; y en el 2020 los registros fueron de 5,0 mg/g, 3,2 mg/g y 3,8 mg/g (Figura 8-8).

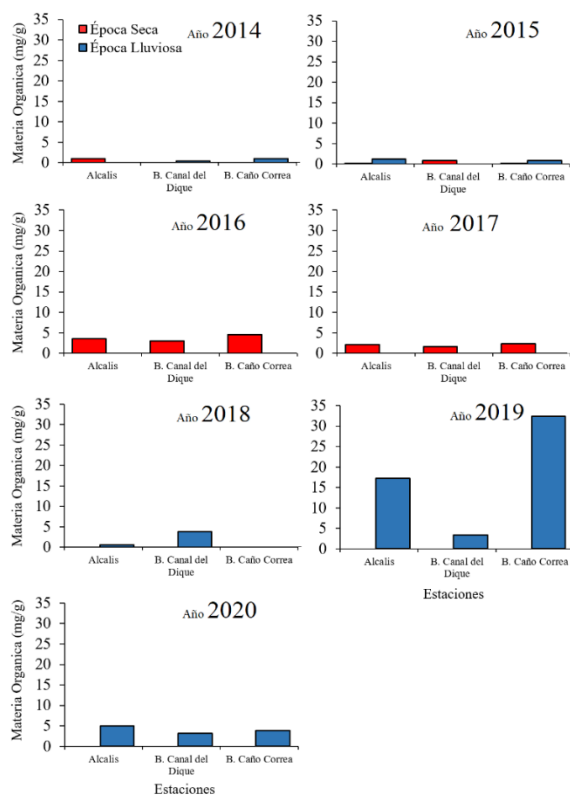


Figura 8-8. Materia Orgánica (mg/g) en muestras de sedimentos recopiladas entre 2014 y 2020, en las estaciones REDCAM Bolívar.

En sedimentos de aguas marinas/estuarinas, las concentraciones de MO registradas en el año 2021 oscilaron entre 0,08 mg/g y 32,3 mg/g; siendo la estación Álcalis la que presentó mayores registros, seguida de B. Canal del Dique y B. Caño Correa. (Figura 8-9). Estas estaciones se encuentran ubicadas en zonas que se ven directamente influenciadas por la desembocadura del Canal del Dique y caños que generan el arrastre de materia orgánica hacia la zona costera; fenómeno que se ve incrementado durante épocas lluviosas.

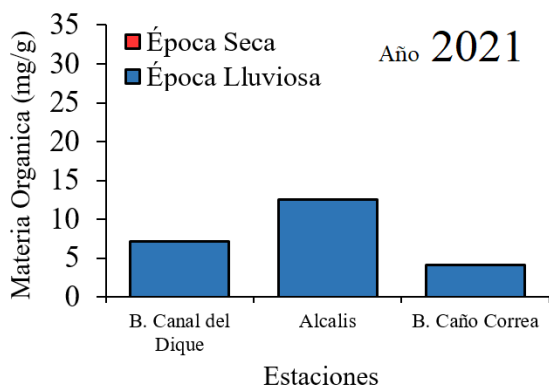


Figura 8-9. Materia Orgánica (mg/g) de las muestras de sedimentos recopiladas en 2021, en las estaciones del departamento de Bolívar.

Las concentraciones de metales en sedimentos marinos y estuarinos registradas en el periodo 2014 y 2020, oscilaron entre 3,0 y 23,9 $\mu\text{g/g}$ para Cobre (Cu), 0,7 y 25,3 $\mu\text{g/g}$ para Cromo (Cr), 0 y 1,7 $\mu\text{g/g}$ para Cadmio (Cd), 2,5 y 23,4 $\mu\text{g/g}$ para Níquel (Ni), 10,6 y 206,7 $\mu\text{g/g}$ para Zinc (Zn), 1,1 y 16,2 $\mu\text{g/g}$ para Plomo (Pb) y 47,6 y 738,5 ng/g para Mercurio (Hg) (Figura 8-11). Por su parte entre los años 2014-2020 el Cr y el Pb reportaron valores por debajo de los límites de referencia TEL y PEL, propuestos por [Buchman \(2008\)](#). Mientras que el Ni y el Zn registraron valores por debajo de los límites de referencia TEL y PEL en el periodo comprendido entre 2014 y 2018 (Figura 8-11). Entre 2019 y 2020, el Cu, Cd, Ni, Zn y Hg reportaron por lo menos en una estación de muestreo, valores superiores al límite de referencia TEL ([Buchman, 2008](#)).

En general para el año 2021 la estación Álcalis (168,6 ng/g) presentó las mayores concentraciones de mercurio en sedimentos marinos/estuarinos, con registros por encima de los valores de referencia internacional para efectos crónicos en la biota acuática - TEL ([Buchman, 2008](#)) (Figura 8-10). Al igual que la estación Álcalis, la estación B. Canal del Dique se encuentra ubicada en la zona de la Bahía de Cartagena, por lo cual puede estar influenciada por la contaminación por mercurio presente desde la década de los 70, cuando con el funcionamiento de la planta Álcalis de Colombia se descargaron grandes cantidades de mercurio en la bahía de Cartagena ([Alonso et al., 2000](#)). Sin embargo, esta no presentó registros por encima de valores de referencia para efecto umbral (Figura 8-10).

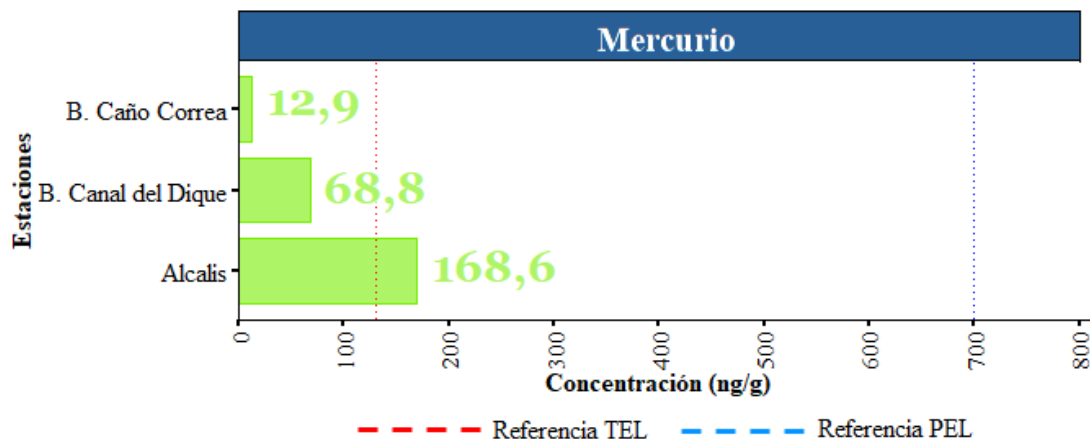


Figura 8-10. Concentración de mercurio (Hg) en sedimentos marinos/estuarinos recopilados en 2021 en el departamento de Bolívar. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron de [Buchman \(2008\)](#) para sedimentos marino/estuarino. Límite de cuantificación del método (LCM) utilizado en CARDIQUE.

En los sedimentos recopilados en el departamento de Bolívar, se determinó que las concentraciones más altas de Cu, Ni y Hg se registraron para B. Caño Correa; mientras que en B. Canal del Dique se presentaron los mayores registros de Cr, Cd, Zn y Pb (Figura 8-11).

De manera general, se observa en la Figura 8-11 el aumento histórico de la concentración de los metales pesados durante los años 2019 y 2020; exceptuando el Hg que durante el año 2017 en la estación B. Caño Correa sobrepasó el valor de referencia PEL (738,5 ng Hg/g) para sedimentos marinos/estuarinos; mientras que en las estaciones B. Canal del Dique (306,1 ng Hg/g) y Alcalis (547,4 ng/g) los registros fueron superiores al límite de referencia TEL ([Buchman, 2008](#)). Esto, se relaciona de con los desechos producidos por la quema de combustibles fósiles y el tránsito de embarcaciones. A pesar de que en la estación Alcalis la concentración de mercurio determinada para el año 2017 no superó los valores de referencia PEL (Figura 8-11), en esta zona se ha presentado contaminación por este metal desde la década de los 70, cuando con el funcionamiento de la planta Alcalis de Colombia se descargaron grandes cantidades de mercurio en la bahía de Cartagena ([Alonso et al., 2000](#)), a lo que se han sumado los residuos generados por las industrias metalúrgicas de la zona del Mamonal y los múltiples dragados del canal de acceso para mantener la navegabilidad en la bahía ([Montealegre y Mejía, 2015](#)), los cuales pueden liberar metales de los sedimentos ([INVEVAR, 2018](#)).

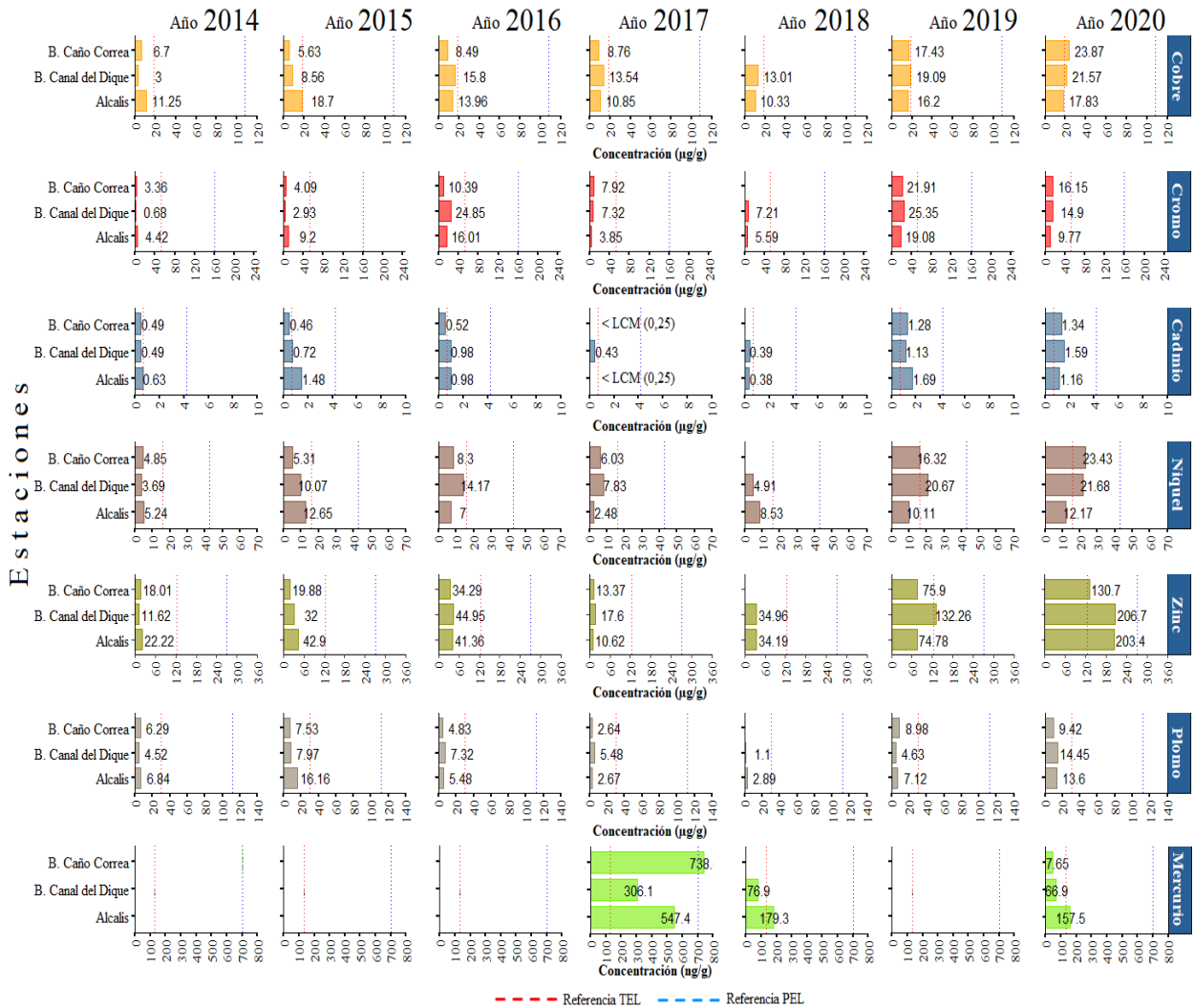


Figura 8-11. Metales totales en sedimentos marinos/estuarinos medidos entre 2014 y 2020 en el departamento de Bolívar. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron de [Buchman \(2008\)](#) para sedimentos marino/estuarino. Límite de cuantificación del método (LCM) utilizado en CARDIQUE.

8.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ El cálculo del ICAM_{PFF} en las estaciones REDCAM, mostró que, en 2021, el 35% de las estaciones tuvieron calidad inadecuada dado a que los subíndices del ICAMPFF nitratos y sólidos suspendidos totales tuvieron concentraciones elevadas en la gran mayoría de las estaciones, las cuales resultaron en condiciones pésimas e inadecuada. La calidad del agua históricamente ha tenido recurrencia de calidad inadecuada de las estaciones playa Marbella, Escollera submarina, Astillero Naval, Álcalis, boya roja frente Corelca, condiciones que han estado determinadas por las altas concentraciones de nitratos, ortofosfatos y Coliformes Termotolerantes.
- ❖ En el agua superficial de las estaciones REDCAM Bolívar para evaluar la calidad del agua para el uso recreativo en las playas turísticas de Isla Barú, Isla Grande, Bocagrande, Marbella Crespo, Manzanillo, Punta Canoa, Boca Canoa e Isla Arena, se ha mantenido un comportamiento histórico homogéneo con niveles de cumplimiento alto para CTT, CTE y EFE; lo cual indica que a nivel general en el periodo 2001-2020 la calidad del agua ha sido apta para el uso recreativo de los bañistas al cumplir con los criterios de calidad nacional y referentes internacionales.
- ❖ En los sedimentos de las estaciones boca de Caño Correa, boca del Canal del Dique y Álcalis muestreados en los años 2019 y 2020 han registrado concentraciones de Cu, Cd, Ni, Zn y Hg valores superiores a las referencias internaciones de efectos umbrales para los organismos acuáticos. La presencia de metales pesados en sedimentos indica que se debe continuar con la medición de estos metales en los sitios de importancia ambiental impactados por aguas residuales industriales y evaluar su biodisponibilidad.

9. 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 (IDEAM *et al.*, 2007). 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 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 9-1; INVEMAR, 2017b; 2019).

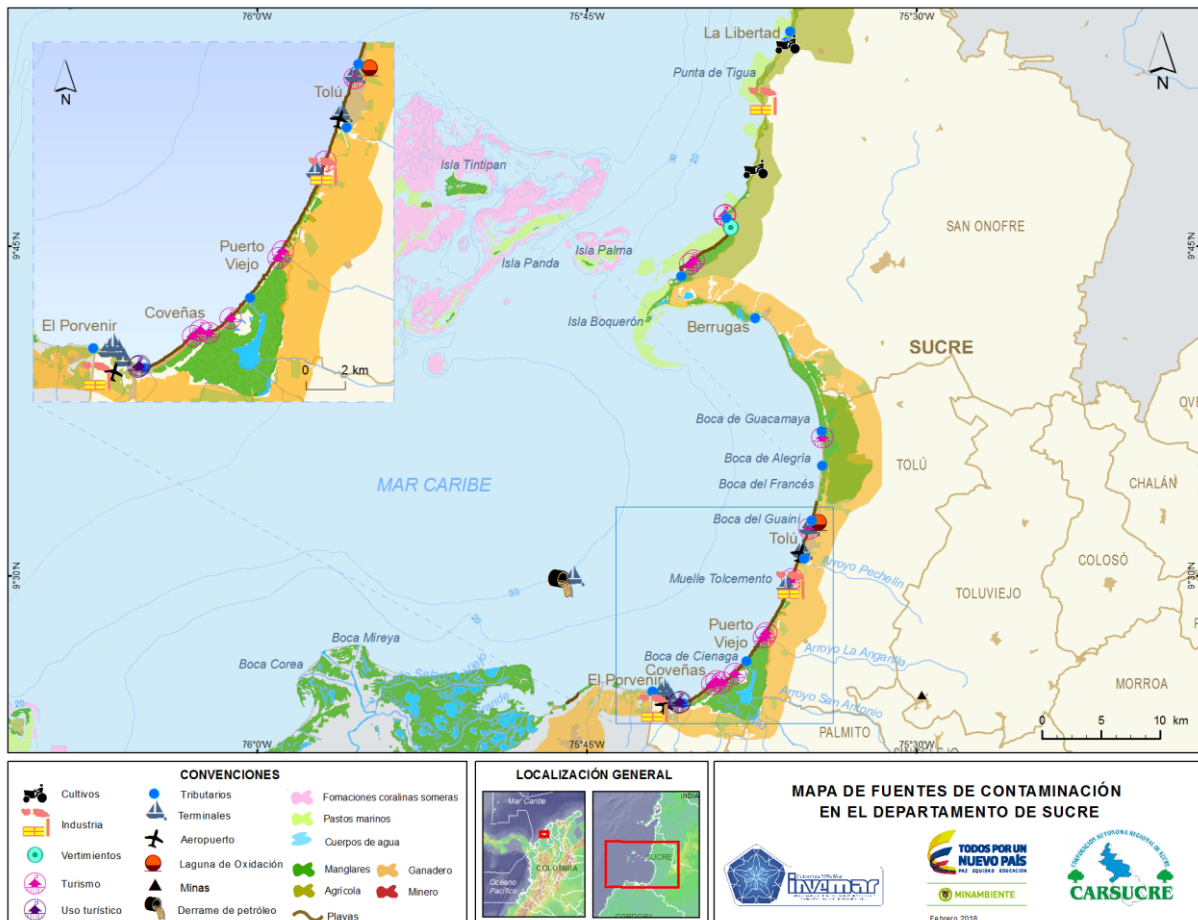


Figura 9-1. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Sucre, Caribe colombiano.

La calidad del agua marina y costera en el departamento de Sucre se encuentra influenciada por diversas actividades socioeconómicas como la ganadería intensiva, cultivos agrícolas, puertos de pesqueros, terminales marítimas petroleras y turismo que generan residuos sólidos y líquidos que dependiendo del tipo de disposición final son considerados fuentes de contaminación (MinAgricultura, 2016).

En Sucre, la REDCAM cuenta con 32 estaciones de monitoreo, las cuales se distribuyen en tres zonas (Figura 9-2), 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 aguadulce por los arroyos.

Desde el 2001, el monitoreo REDCAM en Sucre se ha realizado en cooperación entre la Corporación Autónoma Regional de Sucre –CARSUCRE y el INVEMAR. En el año 2020, debido al aislamiento obligatorio para prevenir el contagio y propagación del COVID-19 decretado por el Gobierno Nacional, no se realizaron monitoreos de calidad del agua, por lo cual, el presente reporte contiene información del comportamiento de la calidad del agua desde 2001 hasta 2019.

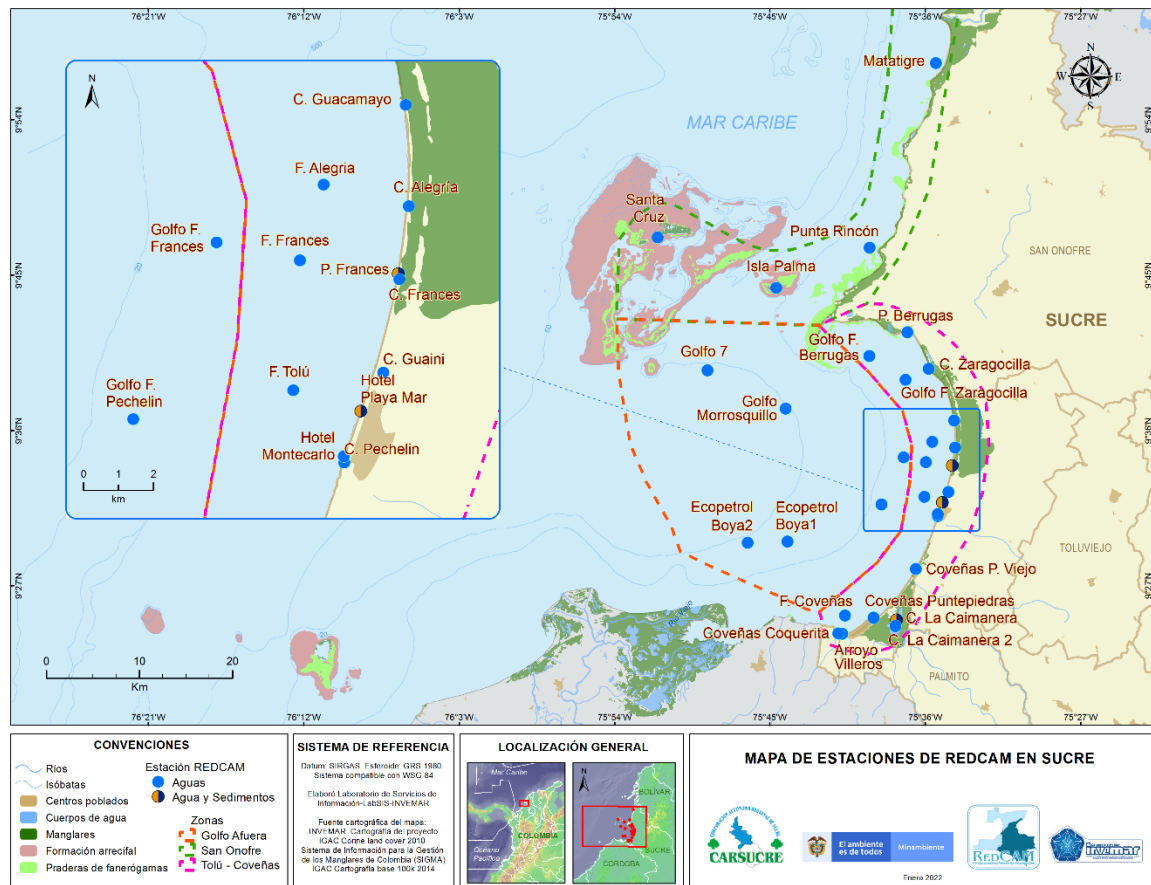


Figura 9-2. Mapa con las estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento de Sucre. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y los puntos bicolors (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimento. Los polígonos punteados enmarcan las zonas de muestreo.

9.1 CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS

9.1.1 Calidad de agua para la preservación 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 las tres (3) zonas como agua marina, (Figura 9-3), debido a que la zona costera del departamento no recibe grandes aportes de aguas continentales, ya que no hay presencia de grandes ríos, sino pequeños caños y arroyos. Las estaciones C. La Caimanera, C. Caimanera 2 y P. Francés, donde está presente el ecosistema de manglar presentaron una mayor variación histórica de salinidad, lo cual refleja la influencia de estos arroyos y caños que desembocan al mar (INVEMAR, 2018). En la zona Tolú-Coveñas, donde tributan los caños y arroyos, influyen la salinidad del agua de las estaciones de muestreo; principalmente en las estaciones de las zonas San Onofre y Golfo Afuera. Adicionalmente, se puede observar que la salinidad de todas las estaciones de muestreo REDCAM del departamento de Sucre, disminuye durante las temporadas lluviosas (Figura 9-3).

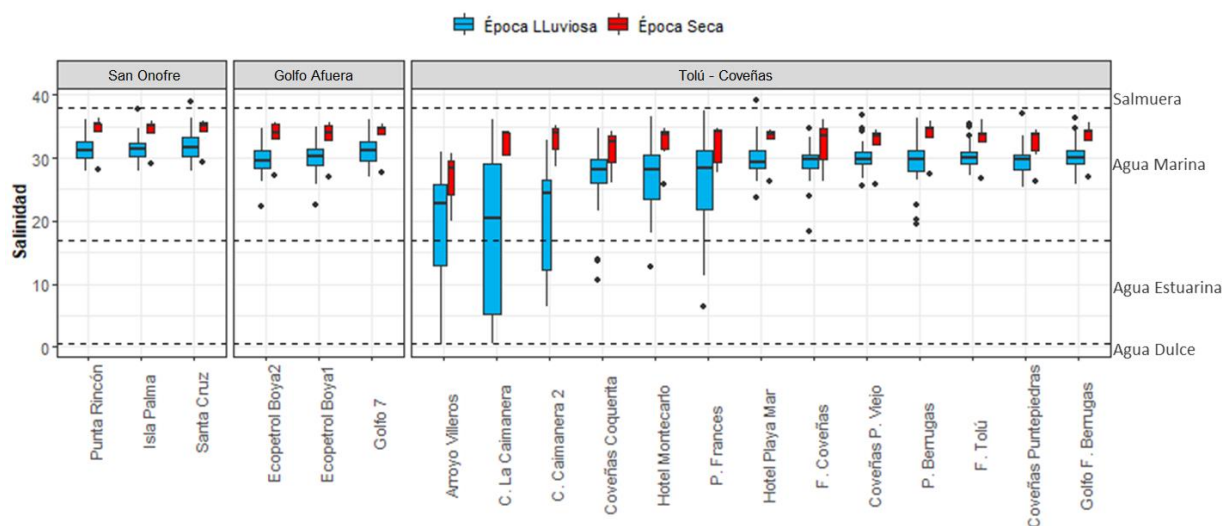


Figura 9-3. Gráfico de caja de la variación histórica (2001-2019) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los 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).

La evolución histórica del estado la calidad de las aguas se evaluó aplicando el Índice de Calidad de Aguas para Preservación de flora y fauna -ICAM_{PFF} (Vivas-Aguas *et al.*, 2014) en 24 estaciones que clasificadas como agua marina o estuarina, y en las cuales se cuenta con el número de mínimo de variables requeridas para su estimación. El cálculo del ICAM_{PFF} en los 19 años de información, muestra variabilidad de la calidad del agua marina y costera, con cambios interanuales. En el balance histórico se observaron condiciones favorables para la preservación de flora y fauna en el **81 %** de los puntos de muestreo evaluados, de los cuales el 8 % obtuvo calidad óptima, 59 % adecuada y 14 % aceptable; mientras que en el **19 %** de

manera recurrente ha mostrada mala calidad del agua, con el 16 % de calidad inadecuada y el 4 % de calidad pésima para la preservación de flora y fauna (Figura 9-4).

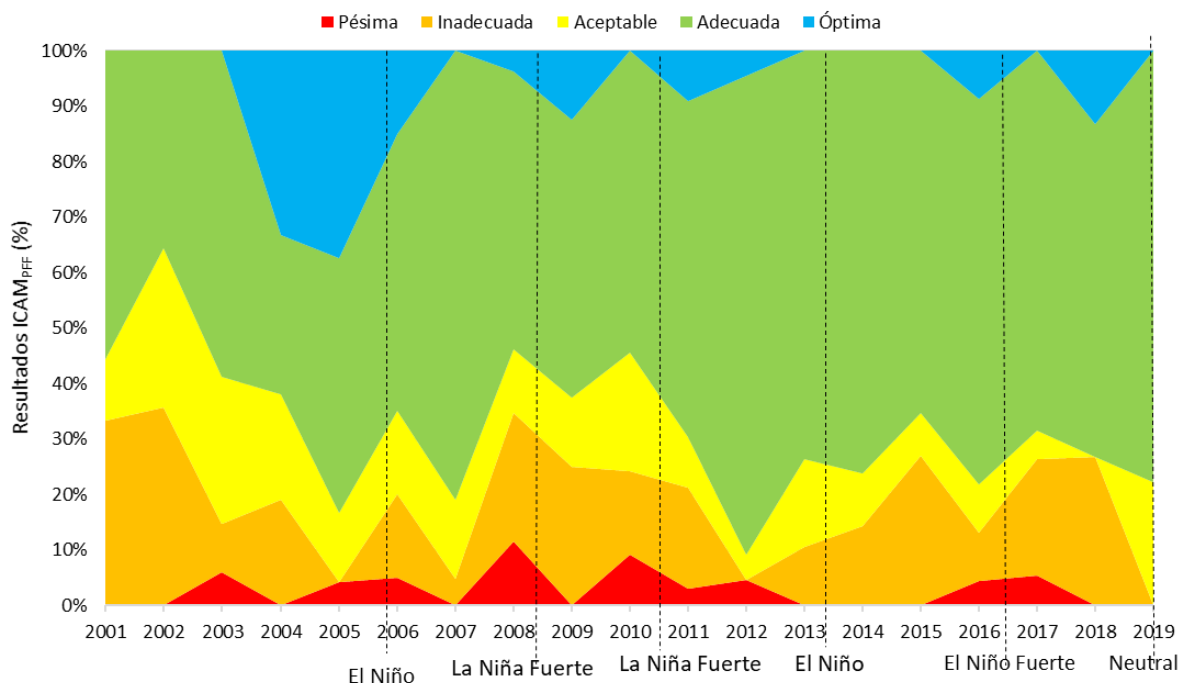


Figura 9-4. Evolución histórica del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PFF}) en el periodo 2001 a 2019 en el departamento Sucre. Las líneas transversales negras indican años con una incidencia del evento El Niño y La Niña según NOAA (2020).

Los resultados del ICAM_{PFF} en el departamento de Sucre, muestran la influencia negativa que tienen las precipitaciones sobre la calidad del agua en la zona costera. El incremento de las lluvias produce un aumento de los aportes continentales de agua dulce y de las escorrentías urbanas y agrícolas que arrastran todo tipo de contaminantes, así como las descargas de diversos caños y arroyos como los caños Zaragocilla, Guacamayo, Alegría, Guainí y Pechelin y el arroyo Villeros que circulan por áreas de ganadería intensiva y zonas urbanas, recibiendo aportes de aguas residuales y residuos sólidos que son descargados en el golfo de Morrosquillo; generando efectos sobre las propiedades fisicoquímicas del agua, por los contenidos de nutrientes y contaminantes (INVEMAR, 2018; Ricaurte y Bastidas, 2017). Este hecho se evidenció entre los años 2007 a 2011, años afectados por el fenómeno climático La Niña, durante los cuales se registraron fuertes precipitaciones (Figura 9-4; IDEAM, 2017).

Por otro lado, en los años 2012 y 2016, marcados por el fenómeno climático El Niño, años caracterizados por la disminución de las precipitaciones (IDEAM, 2017), se observó una influencia positiva en la calidad de las aguas marinas y costeras, al aumentar el porcentaje de sitios de muestreo con aguas de calidad aceptable y adecuada. En el año 2019 predominaron condiciones de neutralidad climática, finalmente, en el año 2021 iniciaron condiciones de un fenómeno La Niña, evidenciándose los efectos negativos sobre la calidad de las aguas marinas

y costeras para preservación de fauna y flora al verse aumentados los porcentajes de sitios con calidad pésima e inadecuada (Figura 9-4).

En el análisis histórico detallado para las estaciones del departamento de Sucre, se observa de manera general una mayor recurrencia de calidad inadecuada y pésima en las estaciones de la zona Tolú-Coveñas. Esta condición se debe principalmente a la influencia de los aportes de aguas continentales provenientes de los caños y arroyos que circulan por áreas de ganadería intensiva y zonas urbanas que reciben vertimientos de aguas residuales y residuos sólidos y son descargados en el golfo de Morrosquillo, y al desarrollo de actividades socioeconómicas como almacenamiento, carga y descarga de combustible, tráfico de embarcaciones y turismo, entre otros (Figura 9-5).

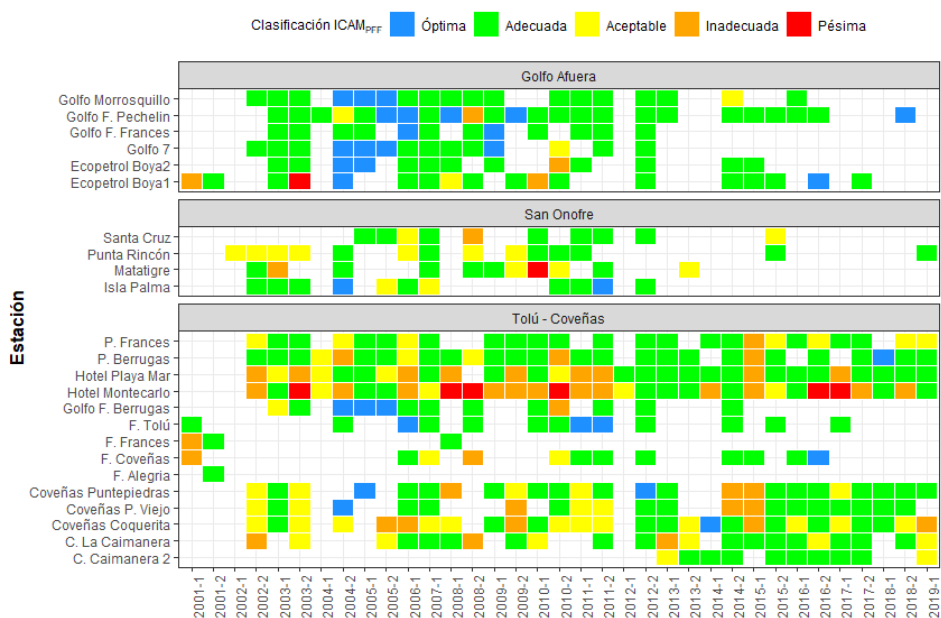


Figura 9-5. Resultados históricos de la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las estaciones REDCAM en Sucre, entre los años 2001 al 2019.

El análisis histórico del ICAM_{PFF} en las estaciones de playas de los hoteles Playa Mar y Hotel Montecarlo muestra de manera reiterativa condiciones de calidad de agua superficial inadecuadas y pésimas (Figura 9-5). Particularmente, en la estación Hotel Montecarlo, donde los valores de SST sobrepasaron ampliamente los estándares de aguas contaminadas, en septiembre 2003 (230,32 mg/L), abril y septiembre 2009 (256,59 mg/L y 281,4 mg/L) y septiembre 2010 (365 mg/L); y en la estación Hotel Playamar, en marzo 2008 (107,2 mg/L) y agosto 2017 (360 mg/L). De igual manera, en las dos estaciones se reportaron altas concentraciones de CTE que superan los valores máximos permisibles para contacto primario y secundario (Minambiente, 2015, Decreto 1076 de 2015), con 24.000 NMP/100 mL (septiembre 2003) y 16.000 NMP/100 mL (julio 2006, octubre 2016, julio 2017). Estas condiciones se encuentran asociadas a las descargas de aguas residuales sin tratamiento previo (infiltraciones de pozos sépticos) que son transportadas por medios naturales como la escorrentía, la cual

aumenta durante temporadas turísticas y los años La Niña que se han desarrollado históricamente (IDEAM, 2021).

Las estaciones ubicadas Golfo Afuera están influenciadas por tránsito marítimo de embarcaciones de pequeño, mediano y gran calado y la explotación de productos de pesca, cemento y combustibles (INVEMAR, 2019). A nivel general, estas estaciones reportaron históricamente calidad del agua superficial con condiciones favorables (óptimas y adecuadas) con casos puntuales de condiciones pésimas e inadecuadas en las estaciones Ecopetrol Boya 1 y 2 y Golfo Pechelin; esta última influenciada por los aportes del caño Pechelin (Figura 9-5).

9.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

La calidad microbiológica del agua en 10 estaciones distribuidas en las playas y sitios turísticos de Sucre, se analizaron a partir de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE), contrastados con los valores de referencia de límites permisibles para uso recreativo de contacto primario de <200 NMP/100ML de CTE, <1000 NMP/100mL (MinAmbiente, 2015) y <100 UFC/100mL (Unión Europea, 2006).

Desde el año 2002 las concentraciones de CTE, CTT y EFE, han mantenido un comportamiento fluctuante, con niveles de cumplimiento e incumplimiento en diferentes momentos. El análisis histórico muestra que en la estación Coveñas Coquerita, Hotel Montecarlo, Punta Rincón y Hotel Playamar, las concentraciones de CTE y CTT (Figura 9-6), han estado por encima de los valores de referencia para contacto primario y secundario establecidos en la legislación nacional (MinAmbiente, 2015), debido a los vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento (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).

Los EFE registrados en las estaciones de muestreo han presentado un comportamiento más homogéneo; en el periodo 2006-2009, en general los niveles de cumplimiento han sido altos (Figura 9-6). Sin embargo, la estación Coveñas Coquerita durante, presentó niveles de cumplimiento bajo para EFE, lo cual indica contaminación por aguas residuales domésticas y un riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales y respiratorias febril aguda (OMS, 2003).

En la estación Isla Palma, las concentraciones históricas de CTE, CTT y EFE, en el periodo comprendido entre 2001 y 2019, han presentado un comportamiento homogéneo con niveles de cumplimiento alto, ya que han estado por debajo de los valores de referencia para uso recreativo por contacto primario (natación) y secundario (pesca) establecidos en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

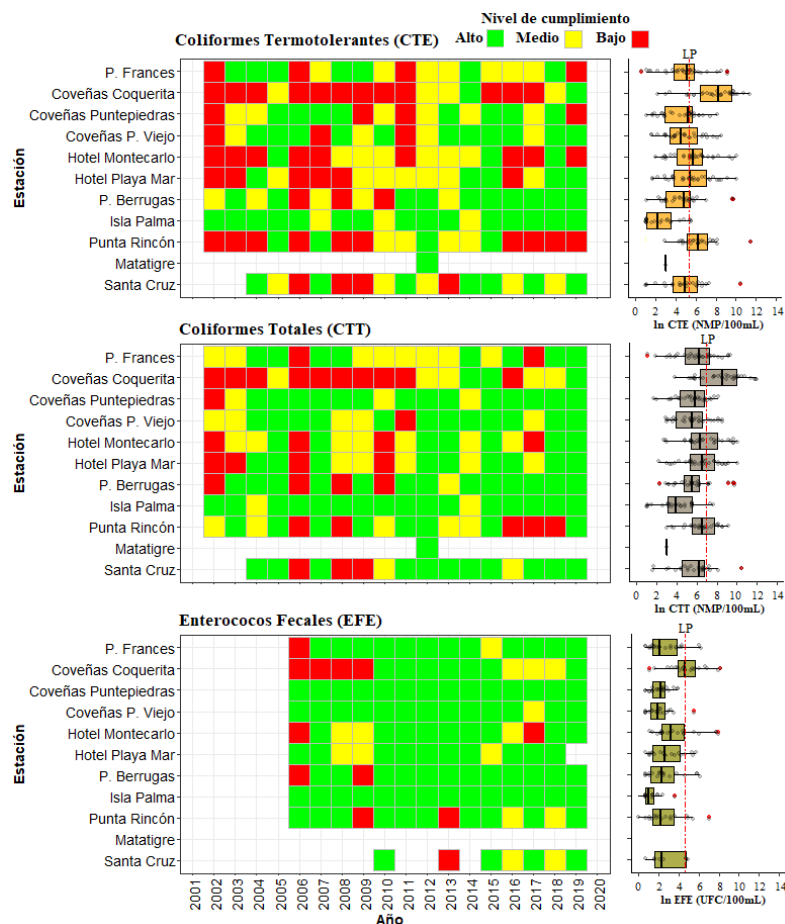


Figura 9-6. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Sucre. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 50 y $< 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Bajo, cuando menos del 50% ($< 50\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. LP: Límite Permissible.

9.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

La calidad del sedimento se determinó mediante el análisis de las variables, Carbono Orgánico Total (COT), Materia Orgánica (MO), metales totales (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, Fe y Hg), y plaguicidas organofosforados y organoclorados.

La caracterización de tipo granulométrica para las muestras de sedimento recopiladas entre 2017 y 2019 mostró que la estación C. La Caimanera, asociada a ciénagas y desembocaduras de caños, presenta un tipo de sedimento limoso (limo muy grueso), lo que evidencia que es una zona con baja energía donde los manglares favorecen el depósito de los sedimentos (INVEMAR, 2018). La granulometría del sedimento de las estaciones Hotel Playa Mar y P. Francés, fue Arena Fina ($63 - 250 \mu\text{m}$), tanto en la época seca como en la lluviosa; y en la estación Punta Rincón, durante

la época seca en el año 2019, la granulometría fue Arena muy Fina (Figura 9-7). Estas estaciones se encuentran en cercanías a ecosistemas de manglar y se asocian a caños y arroyos.

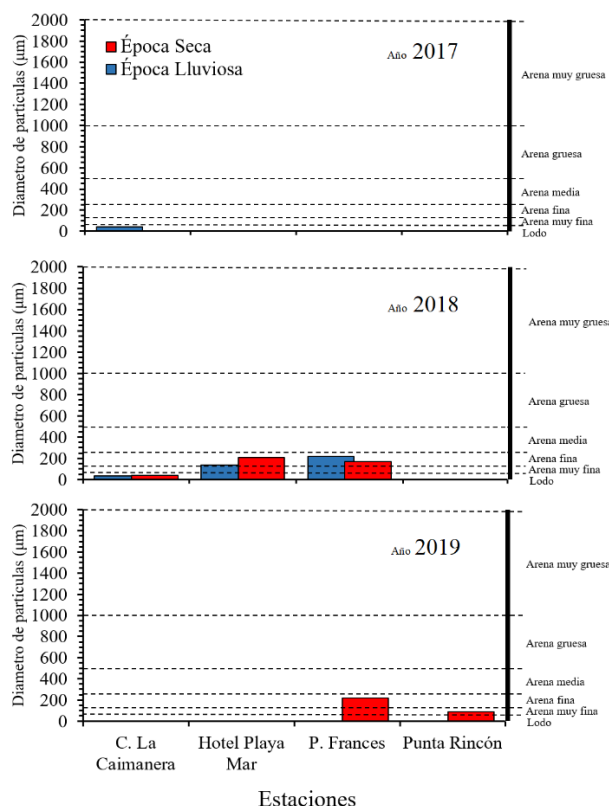


Figura 9-7. Tamaño medio de partícula del sedimento (µm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas entre 2017 y 2019 en el departamento de Sucre. Las barras rojas y azules diferencian la época seca y lluviosa, respectivamente. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

En el año 2018 la estación C. La Caimanera reportó los mayores porcentajes de Carbono Orgánico Total (COT), cuyos valores fluctuaron entre 0,64 y 1,12 % en época lluviosa y seca respectivamente. De manera general, los altos porcentajes de COT se asocian a zonas de poca profundidad y aguas tipo estuarina y dulce, con aportes de materia orgánica relacionada a la presencia de vegetación aledaña, sumergida y fitoplancton (Calva et al., 2006). Durante los años 2018 y 2019 el COT en la estación Hotel Playa Mar el porcentaje de COT estuvo por debajo del límite de cuantificación (< LCM 0,1 %); y en la estación Punta Rincón, el porcentaje de COT durante el año 2019 fue 0,32 % (Figura 9-8).

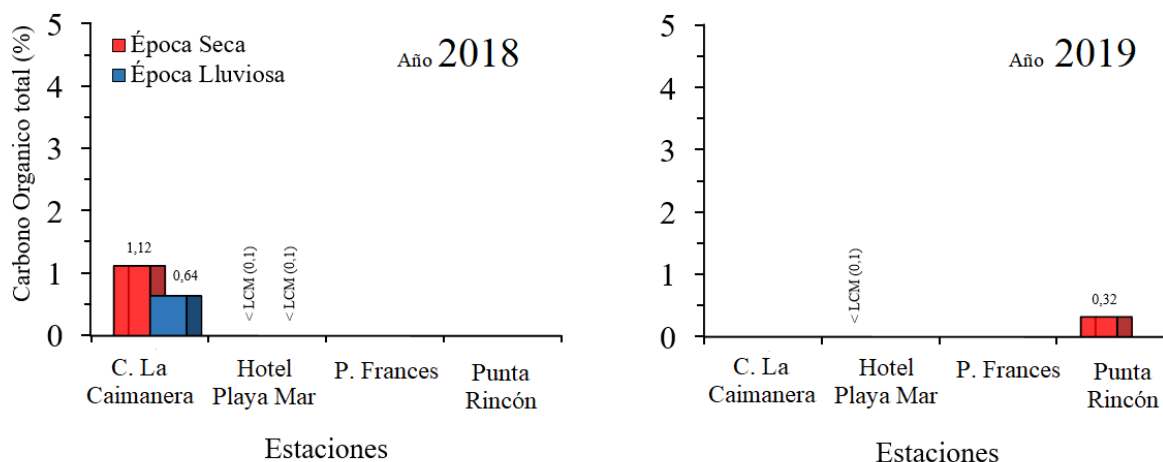


Figura 9-8. Carbono orgánico total (COT) de las muestras de sedimentos recopiladas entre 2018 – 2019 en el departamento de Sucre. Barras rojas y azules representan la época seca y lluviosa respectivamente.

El contenido de Materia Orgánica (MO) en las muestras analizadas entre 2014 y 2017 para C. La Caimanera fluctuó entre 4,72 y 38,87mg/g (Figura 9-9). Las muestras en su mayoría fueron colectadas en época lluviosa, cuando el cauce de los caños y arroyos ha aumentado, transportando residuos orgánicos que posteriormente se acumulan en el suelo. El análisis histórico muestra que en la estación C. La Caimanera la MO ha aumentado; en 2014 se registró un contenido de MO de 23,3 mg/g y en 2017 el registro fue de 27,8 mg/g durante época lluviosa (Figura 9-9). Estos valores corresponden a los aportes de materia orgánica y detritus proveniente del ecosistema de manglar que se encuentra bordeando el cuerpo de agua (INVEMAR, 2014).

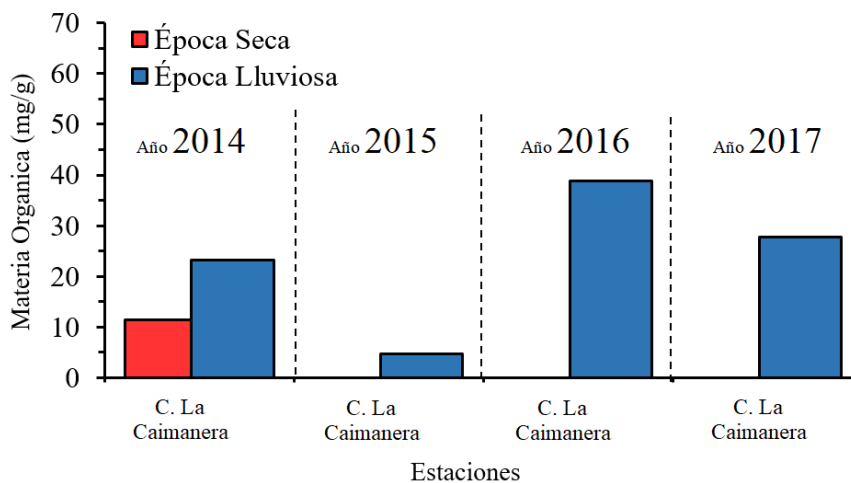


Figura 9-9. Materia Orgánica (mg/g) de las muestras de sedimentos recopiladas entre 2014 y 2017, en la estación C. La Caimanera del departamento de Sucre. Las barras rojas representan la época seca y barras azules época lluviosa.

En el periodo comprendido entre 2014 y 2017, el 70,2 % de los registros de plaguicidas organoclorados en los sedimentos colectados en el departamento de Sucre, estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica usada en el LABCAM y el 28,1 % de registros estuvo por

debajo del límite de cuantificación (LCM). El restante 1,7 % corresponde a los plaguicidas detectados, como el DDT Total: DDT + metabolitos (DDT+DDD+DDE); Endrin Cetona (P11); delta-HCH (P14); Heptacloro (P15); Metoxicloro (P17), los cuales fueron registrados en C. La Caimanera en concentraciones que oscilaron entre 3,2 y 18,5 ng/g (Figura 9-10).

Durante los muestreos realizados entre 2014 y 2017, El 57,7% de los plaguicidas organofosforados estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica usada en el LABCAM, y el 41,4 % por debajo del límite de cuantificación (Figura 9-10). El 0,9 % de valores plaguicidas detectados corresponde a Cis-Permetrina (P30) cuya concentración para el año 2015 en la estación C. La Caimanera fue de 26,87 ng/g (Figura 9-10). Este compuesto no tiene valor de referencia para efectos adversos en la biota acuática (INVEMAR, 2017); sin embargo, se usa el valor de Permetrina en Buchman (2008), el cual indica que para aguas estuarinas/marinas a partir de 1 ng/L se pueden presentar efectos crónicos.

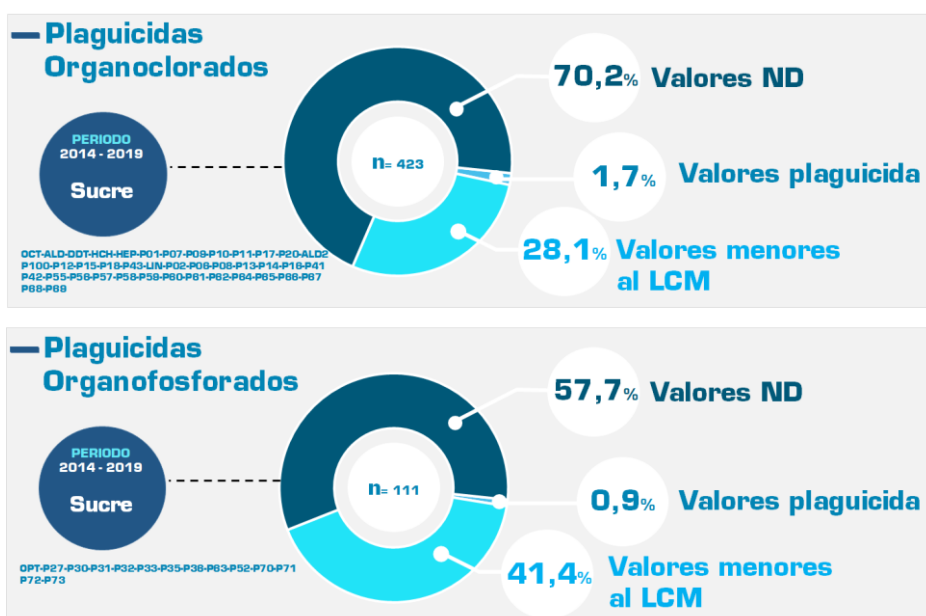


Figura 9-10. Representación histórica de los resultados de plaguicidas organoclorados y organofosforados medidos en las muestras de sedimento del departamento de Sucre.

Las concentraciones de los metales Cu, Cr, Ni, Zn, Pb y Hg en sedimentos marino/estuarinos recolectados en el departamento de Sucre en el periodo 2014 a 2019, más altas se registraron en la estación C. La Caimanera (Figura 9-11). Para las estaciones Punta Rincón, P. Frances, Hotel Playa Mar y C. La Caimanera, oscilaron entre 10,11 y 78,9 µg/g para Cobre (Cu), 6,74 y 170,3 µg/g para Cromo (Cr), 5,83 y 209 µg/g para Niquel (Ni), 17,1 y 138,5 µg/g para Zinc (Zn), 6,66 y 42,9 µg/g para Plomo (Pb), 9,49 y 31,4 ng/g para Mercurio (Hg), 3,28 y 54,3 mg/g para Hierro (Fe) (Figura 9-11); el Cadmio (Cd) siempre estuvo por debajo del Límite de Cuantificación del método usado por el LABCAM (LCM=12,5 µg/g).

En las muestras colectadas en la estación C. La Caimanera durante el año 2014, las concentraciones de Cu, Zn y Pb superaron los valores de referencia TEL; las de Cr y Ni

superaron los valores de referencia para efectos probables (PEL) propuestos por la NOAA (Figura 9-11) (Buchman, 2008). Para el periodo comprendido entre 2015-2019, las concentraciones de Cu, Cr, Cd, Zn y Hg estuvieron por debajo de los límites de referencia TEL. En el año 2019, las concentraciones de la mayoría de los metales, exceptuando el Zn y Fe, estuvieron por debajo del LCM ($LC_{Cu}=5,00 \mu\text{g/g}$; $LC_{Cr}=25,0 \mu\text{g/g}$; $LC_{Cd}=12,5 \mu\text{g/g}$; $LC_{Ni}=75,0 \mu\text{g/g}$; $LC_{Pb}=15,0 \mu\text{g/g}$; $LC_{Hg}=3,00 \mu\text{g/g}$) de los métodos usados en el LABCAM del INVEMAR; lo cual indica una disminución histórica de las concentraciones de metales en sedimentos de las estaciones REDCAM del departamento de Sucre (Figura 9-11).

En las estaciones P. Frances, Hotel Playa Mar y C. La Caimanera, las concentraciones de Ni registradas en el año 2018, para, superaron los valores de referencia para efecto probable (PEL) propuestos por la NOAA (Buchman, 2008). Este mismo año en la estación C. La Caimanera, las concentraciones de Pb superaron el valor de referencia TEL (Figura 9-11).

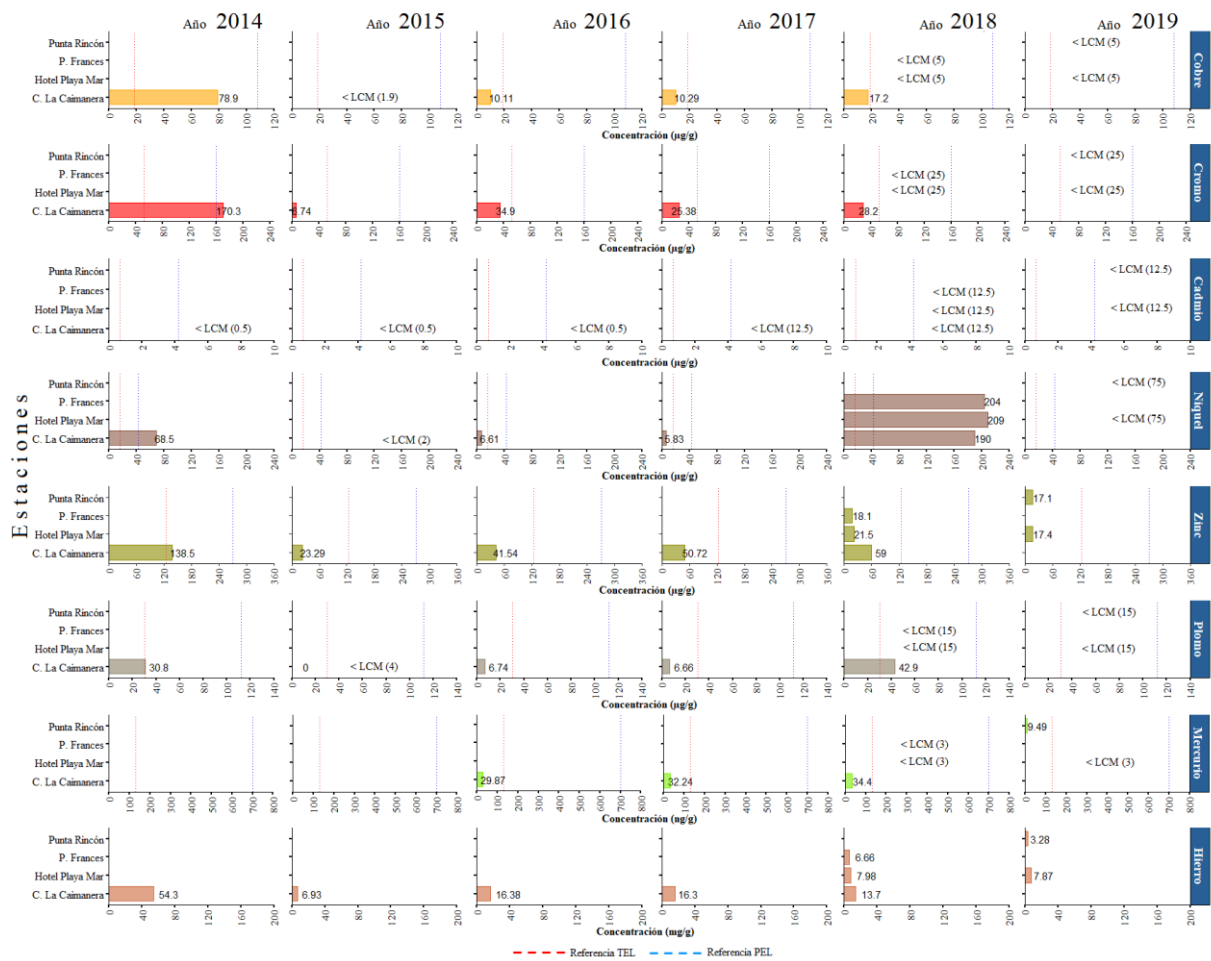


Figura 9-11. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos recopilados entre 2014 y 2020 en el departamento de Sucre. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino. 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.

9.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ El cálculo del ICAM_{PFF} en las estaciones REDCAM Sucre en el periodo 2001-2019, mostró que la calidad del agua en la zona Tolú Coveñas se ve fuertemente influenciada por el aumento de las lluvias, cuando se presentan condiciones de calidad inadecuada y pésima. Situación que ha estado determinada por las altas concentraciones de nitratos, ortofosfatos, Coliformes Termotolerantes y sólidos suspendidos totales provenientes de caños y arroyos que circulan por áreas de ganadería intensiva y zonas urbanas, las cuales reciben aguas residuales y residuos sólidos que son descargados en el golfo de Morrosquillo.
- ❖ La calidad microbiológica en las estaciones Coveñas Coquerita, Hotel Montecarlo, Punta Rincón y Hotel Playamar, ha presentado de manera recurrente niveles de cumplimiento Bajo para uso recreativo, situación que se intensifica durante eventos de lluvia, que favorecen el transporte de residuos líquidos y sólidos que son descargados en la zona marina y costera. Principalmente las estaciones de las playas de los hoteles Playa Mar y Montecarlo, en el periodo 2001-2019. Este resultado evidencia el fuerte impacto generado por los turistas sobre la calidad del agua y adicionalmente alertan sobre los riesgos actuales de su uso para contacto primario y explotación comercial.
- ❖ El análisis histórico de las concentraciones de metales Cu, Cr, Zn y Fe en el sedimento de la estación C. La Caimanera han disminuido, reportándose para el año 2018 concentraciones por debajo de los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y probables (PEL); por el contrario, las concentraciones de Ni, Pb y Hg, aumentaron el año 2018, superando los límites de referencia propuestos por la NOAA. Situación que se puede asociar a la incidencia de fuentes de contaminación relacionada con vertimientos de aguas residuales y escorrentías provenientes de centros poblados y actividades agrícolas y pecuarias.
- ❖ La presencia de plaguicidas organoclorados y organofosforados en los sedimentos de la estación C. La Caimanera puede ser por incidencia de las actividades productivas agropecuarias, industriales y marítimas que generan contaminantes.

10. DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

La zona costera del departamento de Córdoba se encuentra 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 10-1), donde al año 2020 se reportaron 146.368 habitantes (DANE, 2021). 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 y se encuentra 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).

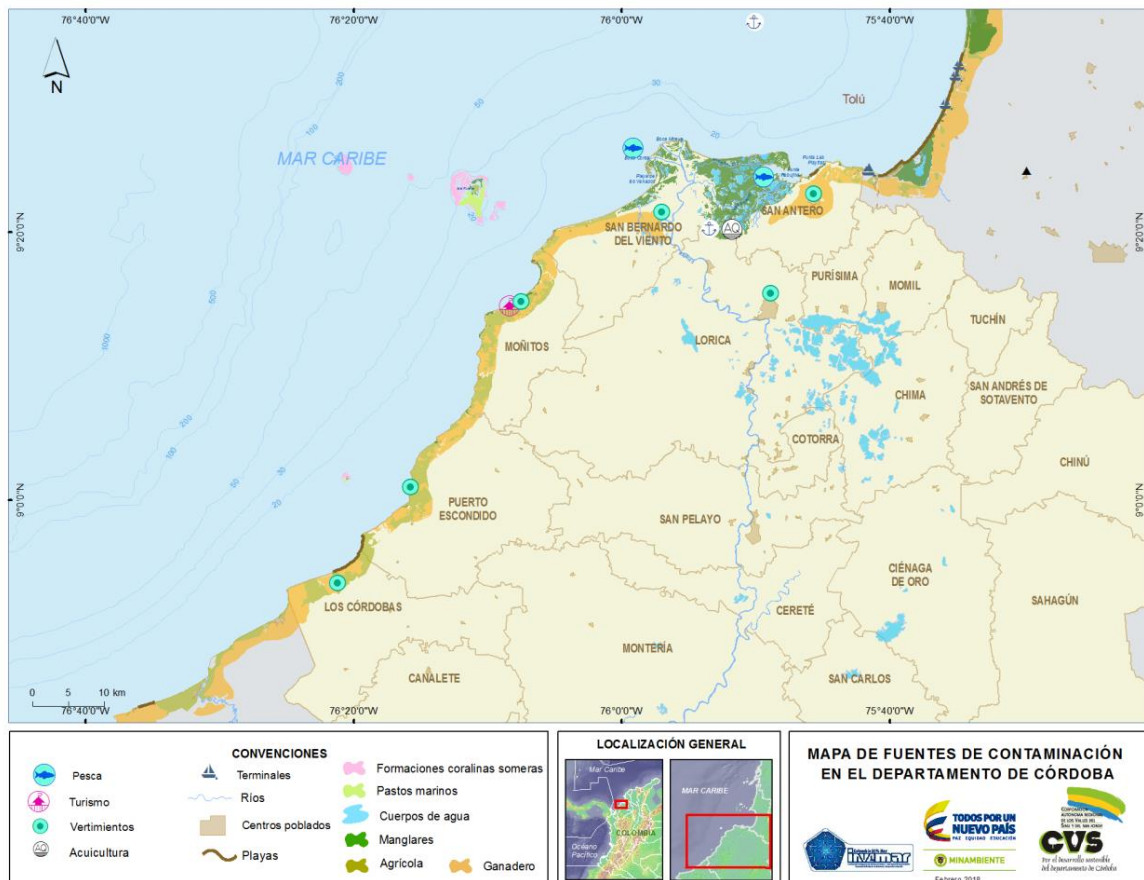


Figura 10-1. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marítimas de contaminación en el departamento de Córdoba, Caribe colombiano. Fuente: INVEMAR (2018).

Las principales fuentes de contaminación que pueden deteriorar la calidad de las aguas marino-costeras del departamento son los 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 (Figura 10-1; [INVEMAR, 2018](#)).

La red de estaciones del monitoreo REDCAM en el departamento se distribuye en dos zonas geográficas: **bahía de Cispata** y **Costa Occidental**. La primera zona comprende los municipios de San Antero, San Bernardo del Viento y Lorica (Figura 10-2). En esta zona, 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 Cispata y Tinajones. La zona, **Costa occidental**, abarca parte de los municipios de San Bernardo del Viento, Moñitos y Puerto Escondido (Figura 10-2), donde se desarrollan actividades de agricultura, ganadería, pesca artesanal, aprovechamiento forestal y turismo (Figura 10-1).

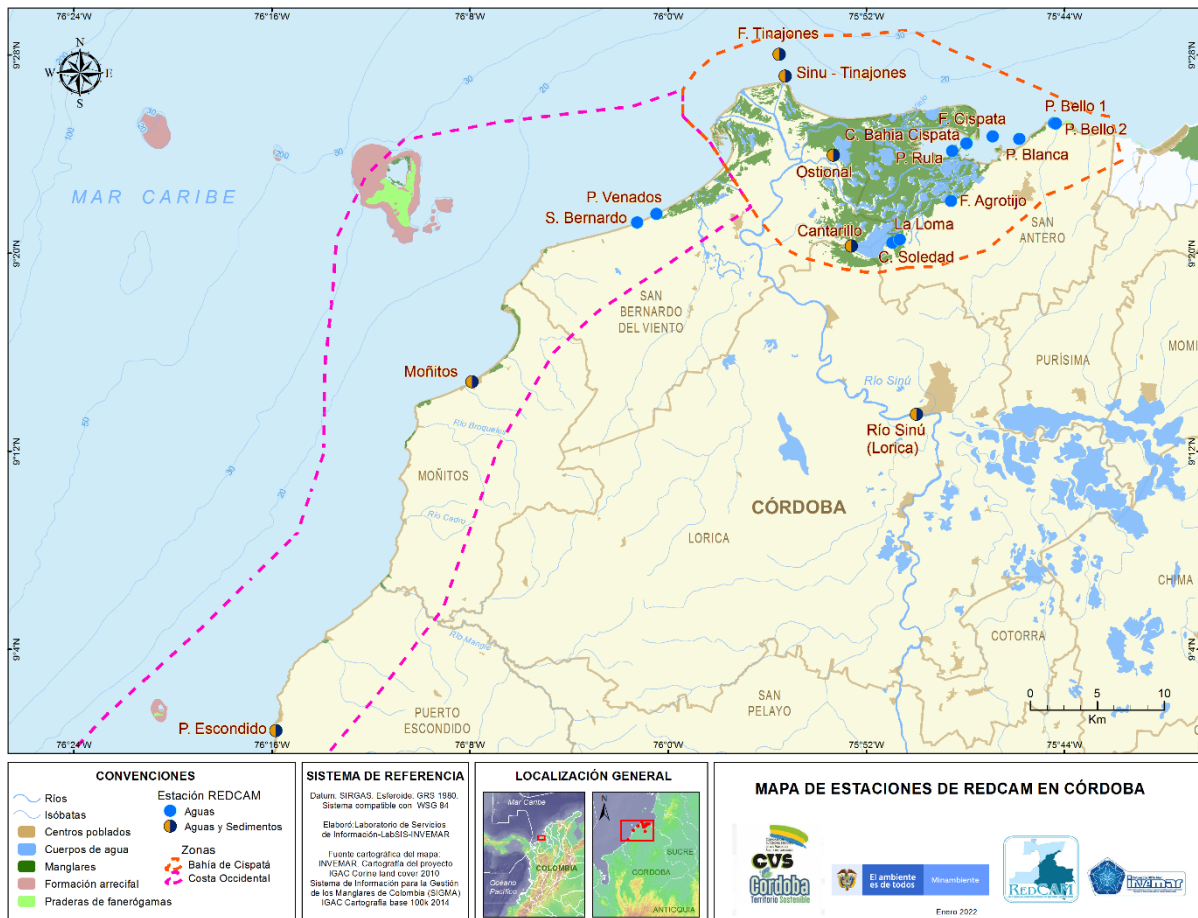


Figura 10-2. Mapa con las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Córdoba. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y los puntos bicolors (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimentos superficiales. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

10.1 CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS

10.1.1 Calidad de agua para la preservación 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 comportamiento histórico de las estaciones REDCAM en el departamento (Figura 10-3), clasifica las aguas de las estaciones Puerto Escondido, San Bernardo del Viento, Playa Venados, Moñitos, Punta Rula, Centro bahía Cispatá, Frente Cispatá, Playa Blanca, punta Bello 1 y Punta Bello 2, como agua marina, según la escala de salinidad del agua sugerida por Knox (2001), estas estaciones se encuentran más alejadas de la incidencia del río Sinú; las estaciones Cantarillo, ciénaga La Soledad, Frente Agrotijo, Frente Tinajones, ciénaga La Loma y Sinú-Tinajones, como agua estuarina; y las estaciones río Sinú (Lorca) y ciénaga Ostional, como agua dulce (Figura 10-3).

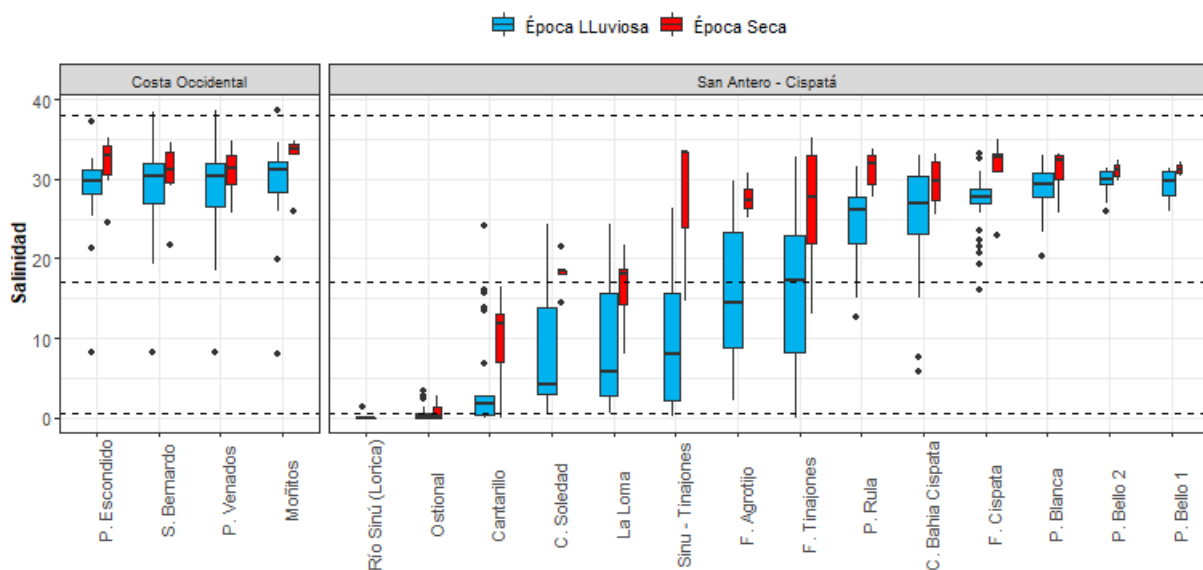


Figura 10-3. Gráfico de caja y bigote con la representación histórica (2001-2021) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, diferenciado por zona de muestreo definidas como Costa Occidental y San Antero – Cispatá; y entre época climática: lluviosa (color azul) y 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).

La evolución histórica del estado la calidad de las aguas se evaluó aplicando el Índice de Calidad de Aguas para Preservación de flora y fauna - ICAM_{PFF} (Vivas-Aguas *et al.*, 2014) a nivel de estaciones (Figura 10-4). Históricamente el ICAM_{PFF} se ha reportado para 14 estaciones que clasificadas como agua marina o estuarina, y en las cuales se cuenta con el número de mínimo de variables requeridas para su estimación.

El cálculo del ICAM_{PFF} en los 21 años de información, ha mostrado una alta variabilidad de la calidad del agua marina y costera, con cambios interanuales (Figura 10-4). En el balance

histórico se observaron condiciones favorables para la preservación de flora y fauna en el 78% de los puntos de muestreo evaluados, de los cuales el 2% obtuvo calidad óptima, 58,1% adecuada y 18,2% aceptable; mientras que en el 21,7% de manera recurrente ha mostrada mala calidad del agua, con el 21,3% de calidad inadecuada y el 0,4% de calidad pésima para la preservación de flora y fauna.

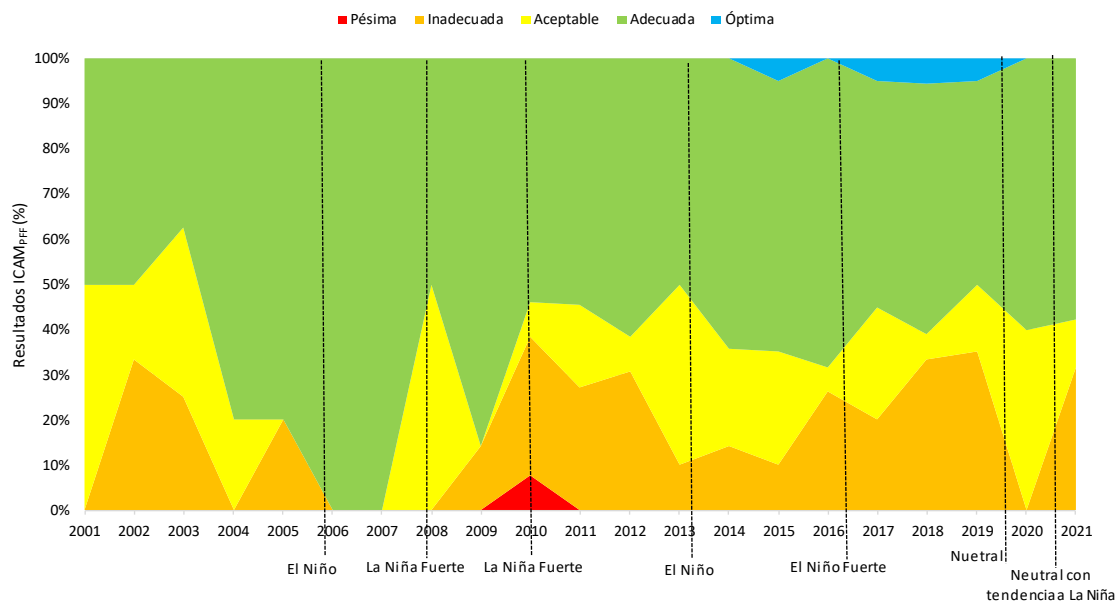


Figura 10-4. Evolución histórica del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PFF}) en el periodo 2001 a 2020 en el departamento Córdoba. Las líneas transversales negras indican años con una incidencia del evento El Niño y La Niña según NOAA (2020).

Los resultados del ICAM_{PFF} en Córdoba, muestran la influencia negativa que tienen las precipitaciones sobre la calidad del agua en la zona costera. El incremento de las lluvias produce un aumento de las escorrentías urbanas y agrícolas que arrastran todo tipo de residuos contaminantes, así como las descargas del río Sinú que puede alcanzar caudales de $3.993 \text{ m}^3 \cdot \text{S}^{-1}$, generando efectos sobre las propiedades fisicoquímicas del agua, por los contenidos de nutrientes y contaminantes (Ricaurte y Bastidas, 2017). Este hecho se evidenció entre los años 2007 a 2008 y de 2010 a 2011, años afectados por el fenómeno climático La Niña, durante los cuales se registraron fuertes precipitaciones (Figura 10-4; IDEAM, 2017). Por otro lado, en los años 2012 y 2014, marcados por el fenómeno climático El Niño, años caracterizados por la disminución de las precipitaciones (IDEAM, 2017), se observó una influencia de manera positiva en la calidad de las aguas marinas y costeras al aumentar el porcentaje de sitios de muestreo con aguas de calidad adecuada y óptima. Desde el año 2020 han predominado condiciones de neutralidad, sin embargo, en el año 2021 iniciaron condiciones de un fenómeno La Niña.

En el análisis histórico detallado para las estaciones del departamento de Córdoba, se observa la recurrencia de calidad inadecuada en aguas estuarinas de las estaciones ciénaga La Soledad, Sinú – Tinajones y frente de Tinajones (Figura 10-5). Esta condición de calidad inadecuada, ha estado determinada por las altas concentraciones de nitratos, con los mayores registros $487 \mu\text{g/L}$ (abril 2013) y $150 \mu\text{g/L}$ (julio 2016) respectivamente.

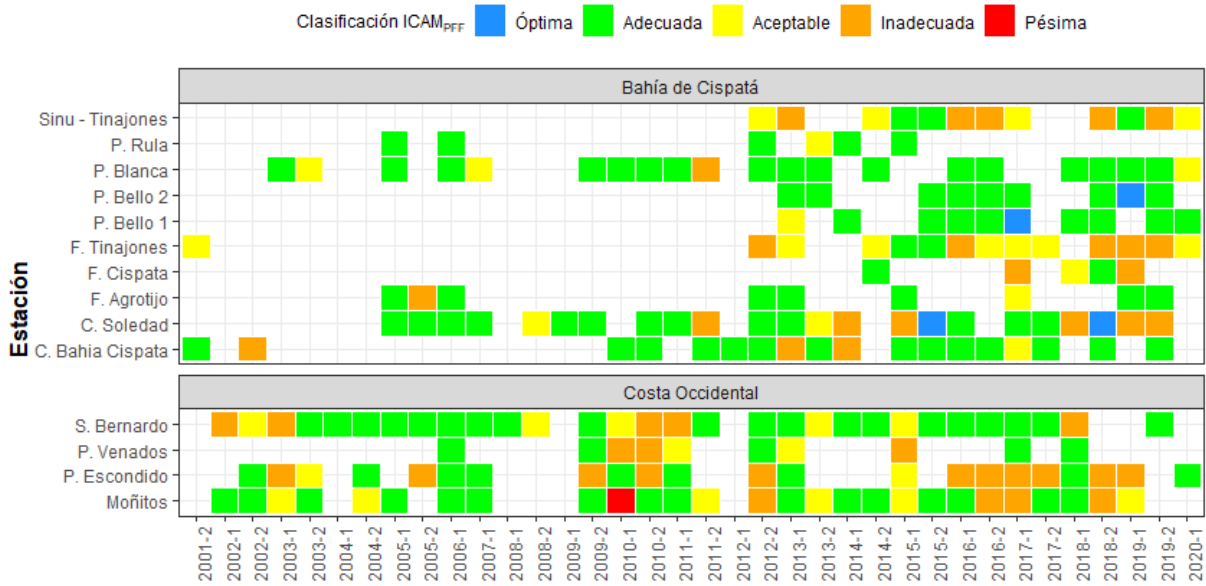


Figura 10-5. Resultados históricos de la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las estaciones REDCAM en Córdoba, entre los años 2001 al 2020.

Para las estaciones en agua marina, se han presentado condiciones inadecuadas reiterativas en San Bernardo, Puerto Escondido y Moñitos (Figura 10-5); debido las altas concentraciones de CTE que superan los valores máximos permisibles para contacto primario y secundario (MinAmbiente, 2015, Decreto 1076 de 2015), en particular en Puerto Escondido con 160.000 NMP/100mL (julio 2013, octubre 2016, octubre 2020), y Moñitos con 92.000 NMP/100mL (octubre 2016) y con 79.000 NMP/100mL (julio 2017). Estas condiciones se encuentran asociadas a las descargas de aguas sin tratamiento previo (infiltraciones de pozos sépticos) que son transportadas por medios naturales como la escorrentía, la cual aumenta durante los años La Niña que se han desarrollado históricamente (IDEAM, 2021).

Las variaciones en las estaciones Cantarillo, La Loma, frente Agrotijo, Ostional y centro bahía Cispata, ubicadas en el DMI Cispata, se deben a la influencia de las aguas de escorrentías y del río Sinú que transportan sustancias contaminantes desde sus recorridos continentales; y a la incidencia costera de las áreas de instalación, operación y desmantelamiento de camaroneras, y las actividades ganaderas y agrícolas que contribuyen a la constante resuspensión de sedimentos, además al estar rodeadas por ecosistemas de manglar, con suelos que contribuyen entre el 50% y 90% de contenidos de carbono (Fundación Natura y el INVEMAR, 2019)

Para el año 2021, la estimación del ICAM_{PFF}, se realizó con la información del muestreo realizado en el mes de mayo en el marco de los compromisos del INVEMAR en la generación del reporte del ICAM y con los resultados del monitoreo realizado en mes de septiembre (en el marco de los compromisos del convenio 005 CVS – INVEMAR). Se evaluaron 12 estaciones, con valores del ICAM_{PFF} entre 25,01 y 89,91, donde el 57,9% de los registros estuvieron en calidad adecuada, el 10,5% en aceptable y el 31,6% en calidad inadecuada (Figura 10-6). En el mes de mayo, predominaron las aguas con calidad adecuada, sin embargo, se presentaron condiciones inadecuadas en las estaciones frente Tinajones y Ciénaga la Soledad, reiterando la tendencia histórica. Esta información indica que es necesario tomar acciones frente las fuentes

de contaminación persistentes en esta zona, las cuales están generando los estresores que contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas marinas y costeras. En septiembre, con el aumento de las precipitaciones, se observó un deterioro de la calidad del agua en la estación Puerto Escondido, pasando de calidad adecuada en mayo a condición inadecuada en septiembre. Resultado que evidencia la incidencia en los efectos de los procesos de escorrentía, donde se aumentan las descargas de residuos líquidos y sólidos.

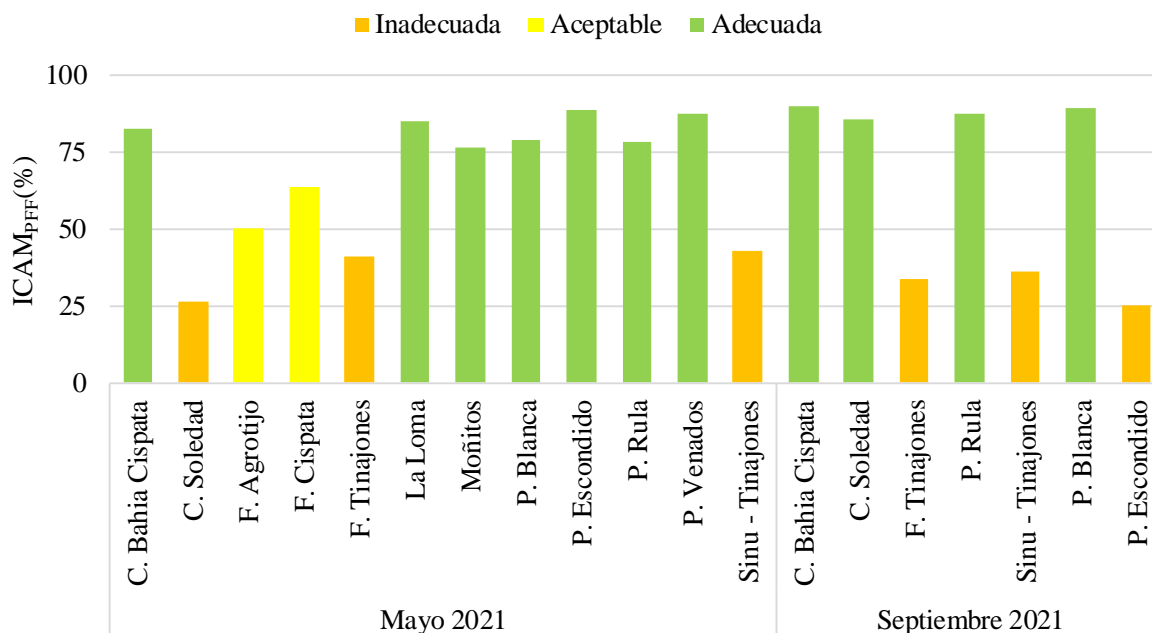


Figura 10-6. Calidad del agua estimada con el ICAM_{PFF} en el departamento de Córdoba en el año 2021

10.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

Los niveles de cumplimiento de la calidad microbiológica de las aguas en las playas turísticas de Playa Venados, Puerto Escondido, Moñitos, San Bernardo del viento y Playa Blanca, se analizaron a partir de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE) (Figura 10-7), contrastados con los valores de referencia de límites permisibles para uso recreativo de contacto primario de <200 NMP/100ML de CTE, <1000 NMP/100mL (MinAmbiente, 2015) y <100 UFC/100mL (Unión Europea, 2006).

Desde el año 2002 las concentraciones de CTE, CTT y EFE, han mantenido un comportamiento fluctuante, con niveles de cumplimiento e incumplimiento en diferentes momentos, sin embargo, el análisis histórico muestra que en la estación Puerto Escondido han aumentado con el tiempo las concentraciones de CTE, incumpliendo con las referencias para contacto primario y secundario establecidas en la legislación nacional (MinAmbiente, 2015). Las concentraciones más altas de CTE, CTT y EFE, se han registrado en Puerto Escondido y Moñitos, superando de manera reiterativa el criterio de calidad para uso recreativo por contacto primario (natación, 200 NMP de CTE/100 mL; MinAmbiente, 2015). Este comportamiento está relacionado tanto con factores climáticos marcados por épocas de lluvia, como por factores antropogénicos

relacionados 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.

Las mayores concentraciones de EFE se registraron en Puerto Escondido, 7.600 UFC/100mL (julio 2017), 5.800 UFC/100mL (julio 2017), 820 UFC/100mL (octubre 2020). De acuerdo con los lineamientos de la OMS (2003), al estar >500 UFC/100mL hay una probabilidad >10% de que los usuarios de las playas contraigan enfermedades gastrointestinales (EGI) y >3,9% de contraer enfermedades respiratorias febriles agudas (ERFA). Estos microorganismos están asociadas a contaminación de origen fecal, lo que refleja la carencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales, los cuales son vertidos directamente. Para mejorar la calidad del agua, es necesario contar con un sistema de saneamiento que permita disminuir la carga microbiológica que llega a las aguas marinas y costeras del departamento.

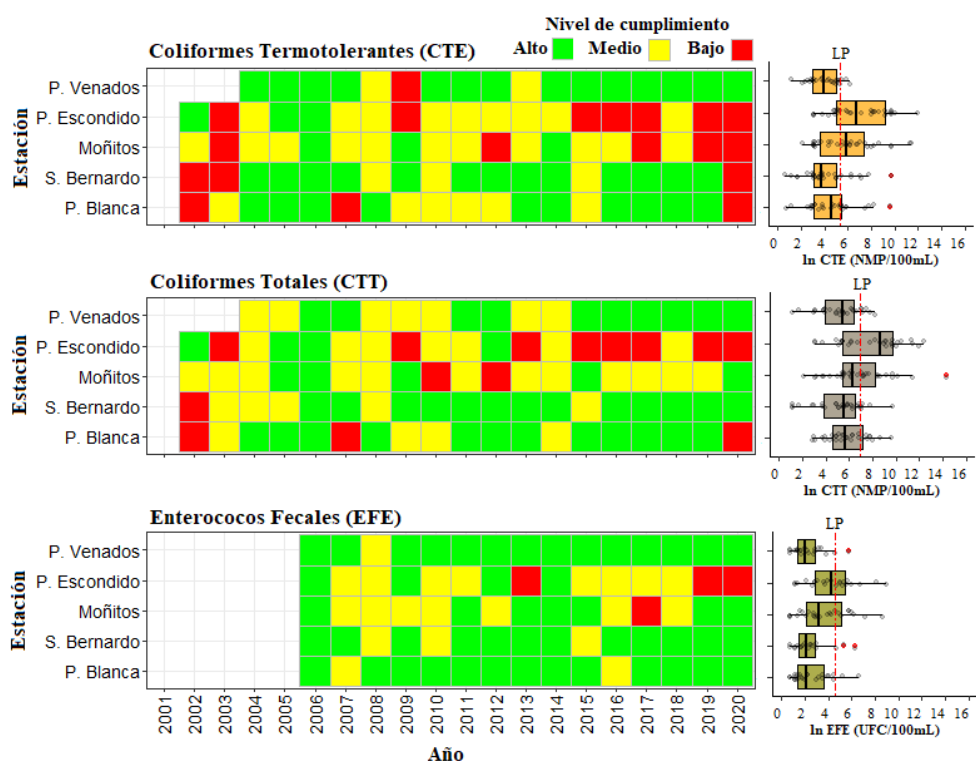


Figura 10-7. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Córdoba. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 50 y $< 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Bajo, cuando menos del 50% ($< 50\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. LP: Límite Permissible.

10.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

En la zona hidrográfica Sinú, se presentan condiciones para la producción de sedimentos desde de la sub-zona Alto Sinú–Urrá, en la que predominan áreas agrícolas y pastizales, con altas pendientes y alta escorrentía, en las que se generan procesos de erosión hídrica, por movimientos en masa, así como la presencia esporádica de explotación de oro de aluvión que son una fuente importante de sedimentos ([IDEAM, 2019](#)). Teniendo en cuenta esta condición sumada a la influencia del río Sinú, 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 la calidad del sedimento, determinada mediante el análisis de las variables, Carbono Orgánico Total (COT), Materia Orgánica (MO) y metales totales (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, Fe y Hg).

La caracterización de tipo granulométrica para las muestras de sedimento recopiladas entre 2017 y 2020 mostró que las estaciones F. Tinajones, Sinú-Tinajones, Cantarillo, Ostional, Río Sinú (Lorica) y Río Sinú, presentan un tipo de sedimento Lodoso (limo+arcilla, $<63 \mu\text{m}$). Estas estaciones se asocian a desembocaduras del Río Sinú y algunas ciénagas como Soledad y Ostional, cuya geomorfología de la zona se ha caracterizado en el tiempo por tener depósitos de tipo fluvial y lacustre con poca influencia marina, constituidos principalmente por limos y arcillas ([Lazala & Parra, 2010](#)).

Entre 2018 y 2020 se observó para Moñitos una pequeña variación en el tipo de sedimento, fluctuando entre Arena muy fina y Arena fina ($63 - 250 \mu\text{m}$), tanto en la época seca como en la lluviosa. En la estación P. Escondido, entre 2018 y 2019 el tipo de sedimento fue Arena muy fina, y para el 2020, esta estación se identificó con un tipo de sustrato de Arena Media ($250 - 500 \mu\text{m}$) (Figura 10-8). Estas estaciones se encuentran en cercanías a la línea de costa y se asocian a corrientes marinas.

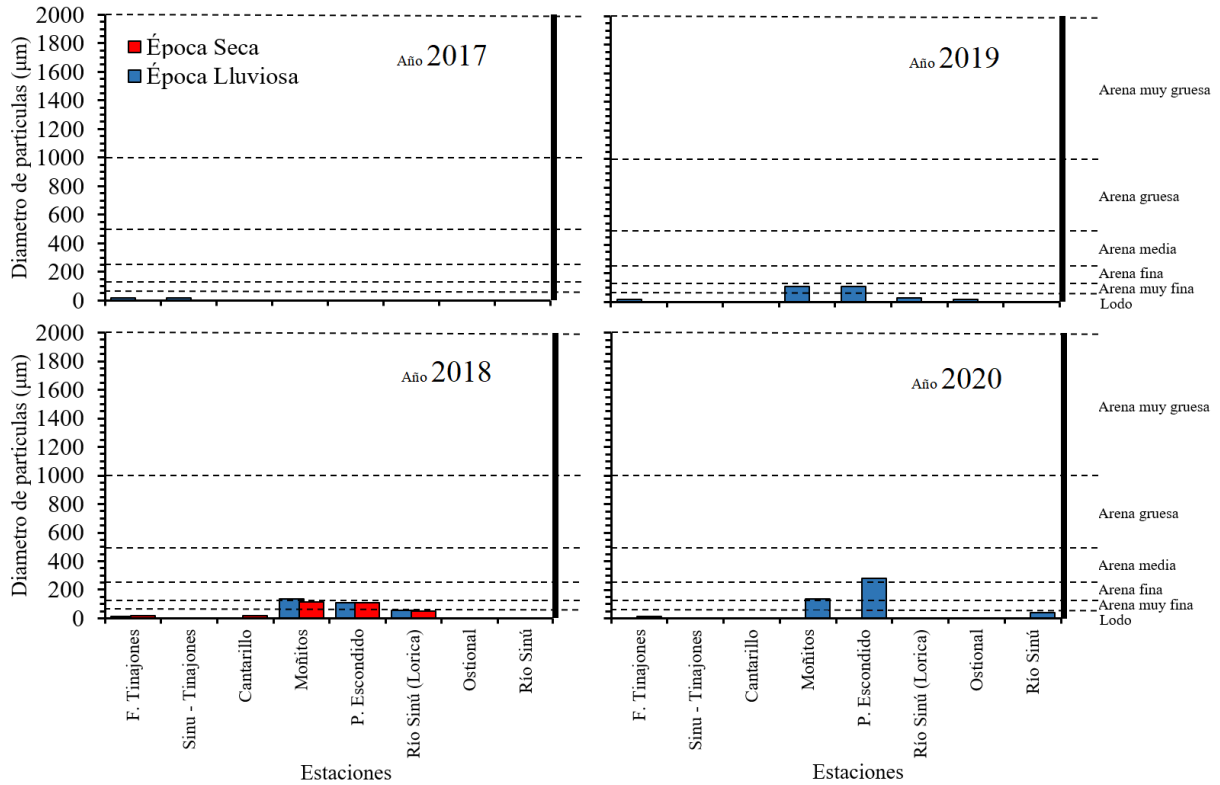


Figura 10-8. Tamaño medio de partícula del sedimento (μm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas entre 2017 y 2020 en el departamento de Córdoba. Las barras rojas y azules diferencian la época seca y lluviosa, respectivamente. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

Los mayores porcentajes de contenido de Carbono Orgánico Total (COT) se registraron en las muestras de sedimento tipo Lodoso (limo+arcilla, $<63 \mu\text{m}$), característico de las estaciones Cantarillo F. Tinajones, Río Sinú (Lorica) y Ostional, cuyos valores fluctuaron entre 0,24 y 5,8%, registrándose los porcentajes más altos para el año 2018 en Cantarillo, y entre 2019 y 2020 en Ostional (Figura 10-9). De manera general, los altos porcentajes de COT se asocian a zonas de poca profundidad y aguas tipo estuarinas y dulce con aportes de materia orgánica relacionada a la presencia de vegetación aledaña y vegetación sumergida, sin dejar a un lado el aporte del fitoplancton (Calva et al., 2006). En Moñitos y P. Escondido, estaciones con tipos de sedimentos arenosos, se presentaron los porcentajes de Carbono Orgánico más bajos entre 2018 y 2020, variando entre 0,16 y 0,24%, inclusive registrándose para algunos años valores menores al límite de cuantificación ($< \text{LCM } 0,1$).

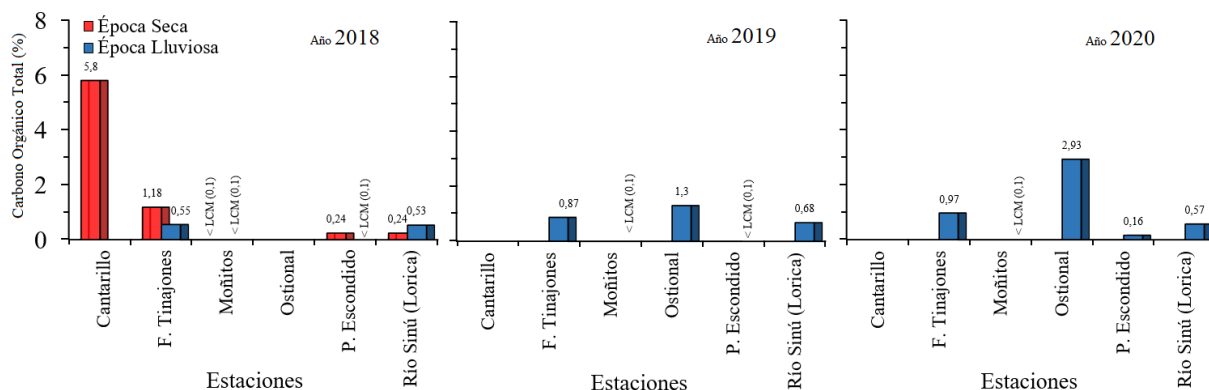


Figura 10-9. Carbono orgánico total (COT) de las muestras de sedimentos recopiladas entre 2018 – 2020 en el departamento de Córdoba. Barras rojas y azules representan la época seca y lluviosa respectivamente.

El contenido de Materia Orgánica (MO) en las muestras recopiladas entre 2014 y 2017 para F. Tinajones, Cantarillo y Sinú-Tinajones fluctuó entre 10,8 y 300 mg/g (Figura 10-10). Las muestras en su mayoría fueron obtenidas en época lluviosa, cuando el cauce de los ríos ha aumentado transportando residuos orgánicos que posteriormente se acumulan en el suelo. El análisis histórico muestra que en el transcurso del tiempo que el contenido de MO en la estación F. Tinajones ha disminuido, en 2014 se registró un contenido de MO de 89,5 mg/g y en 2017 el registro fue de 18,8 mg/g. Esta estación se caracteriza por situarse costa afuera de la desembocadura del Río Sinú, lo cual puede incidir en la disminución del material orgánico presente debido a factores como la reducción del aporte de agua fluvial por la fuerte temporada del fenómeno de El Niño (IDEAM, 2019), considerando la entrada de material que llega a través de este medio.

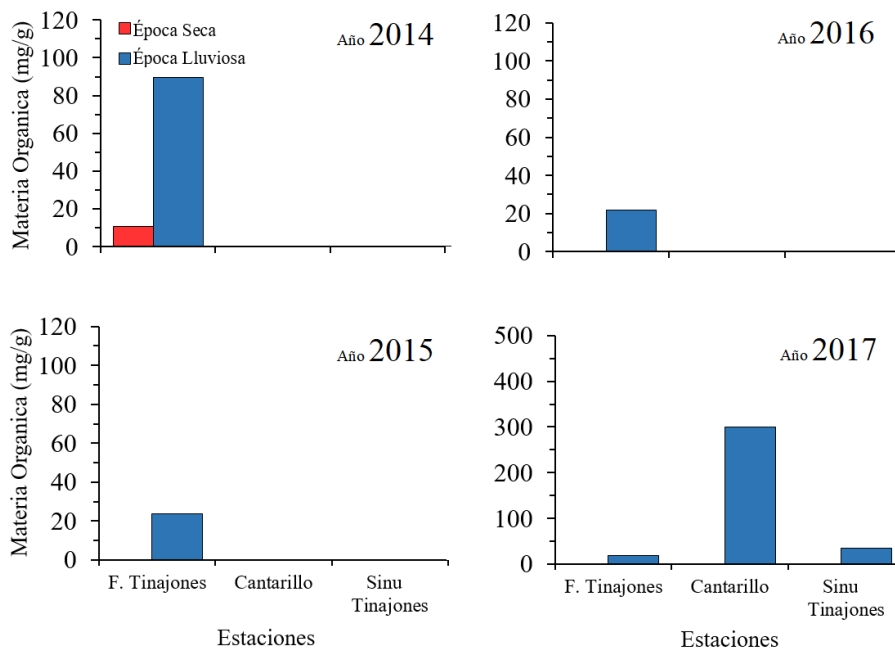


Figura 10-10. Materia Orgánica (mg/g) de las muestras de sedimentos recopiladas entre 2014 y 2017, en las estaciones del departamento de Córdoba. Las barras rojas representan la época seca y barras azules época lluviosa.

Las concentraciones de metales en sedimentos marino/estuarinos registradas en el periodo 2014 y 2020, oscilaron entre 5,7 y 136 $\mu\text{g/g}$ para Cobre (Cu), 23,7 y 201 $\mu\text{g/g}$ para Cromo (Cr), 42,82 y 235 $\mu\text{g/g}$ para Niquel (Ni), 32,3 y 257 $\mu\text{g/g}$ para Zinc (Zn), 9,2 y 106 $\mu\text{g/g}$ para Plomo (Pb), 3,7 y 161 ng/g para Mercurio (Hg), 11,4 y 121 mg/g para Hierro (Fe) (Figura 10-11); el Cadmio (Cd) siempre estuvo por debajo del Límite de Cuantificación del método usado por el LABCAM ($\text{LC}=12,5 \mu\text{g/g}$).

En la mayoría de las muestras recolectadas entre 2014 y 2020, en las estaciones F. Tinajones, Cantarillo y Sinu-Tinajones, y en la estación P. Escondido en el 2020, las concentraciones de Cu y Cr, estuvieron por encima del valor de referencia para efectos umbral (TEL) propuestos por la NOAA (Buchman, 2008; Figura 10-11).

Las concentraciones de Ni en general superaron los valores de referencia para efecto probable (PEL) propuestos por la NOAA (Buchman, 2008), principalmente en el año 2018 donde se registró la concentración más alta de este metal; en el 2020 la concentración de Ni estuvo por debajo del límite de cuantificación ($< \text{LCM } 75 \mu\text{g/g}$; Figura 10-11).

Las concentraciones de Zn, en la estación F. Tinajones oscilaron entre 90,3 y 257 $\mu\text{g/g}$ algunos registros por encima del valor TEL propuesto por la NOAA (124 $\mu\text{g/g}$; Buchman, 2008); en las demás estaciones la concentración de este metal estuvo por debajo del valor de referencia TEL (Figura 10-11).

Las concentraciones de Pb superaron los valores TEL en las estaciones Sinu-Tinajones para el año 2017, P. Escondido y F. Tinajones para el 2018. Entre 2019 y 2020 las concentraciones de este metal estuvieron por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica usada en el LABCAM ($< \text{LCM } 15 \text{ ng/g}$; Figura 10-11).

En el periodo de análisis, Las concentraciones de Hg en la mayoría de las estaciones estuvieron por debajo del límite de referencia TEL, con excepción de la estación F. Tinajones, en la cual la concentración de Hg en los años 2019 y 2020, superó este valor de referencia TEL (130 ng/g Figura 10-11).

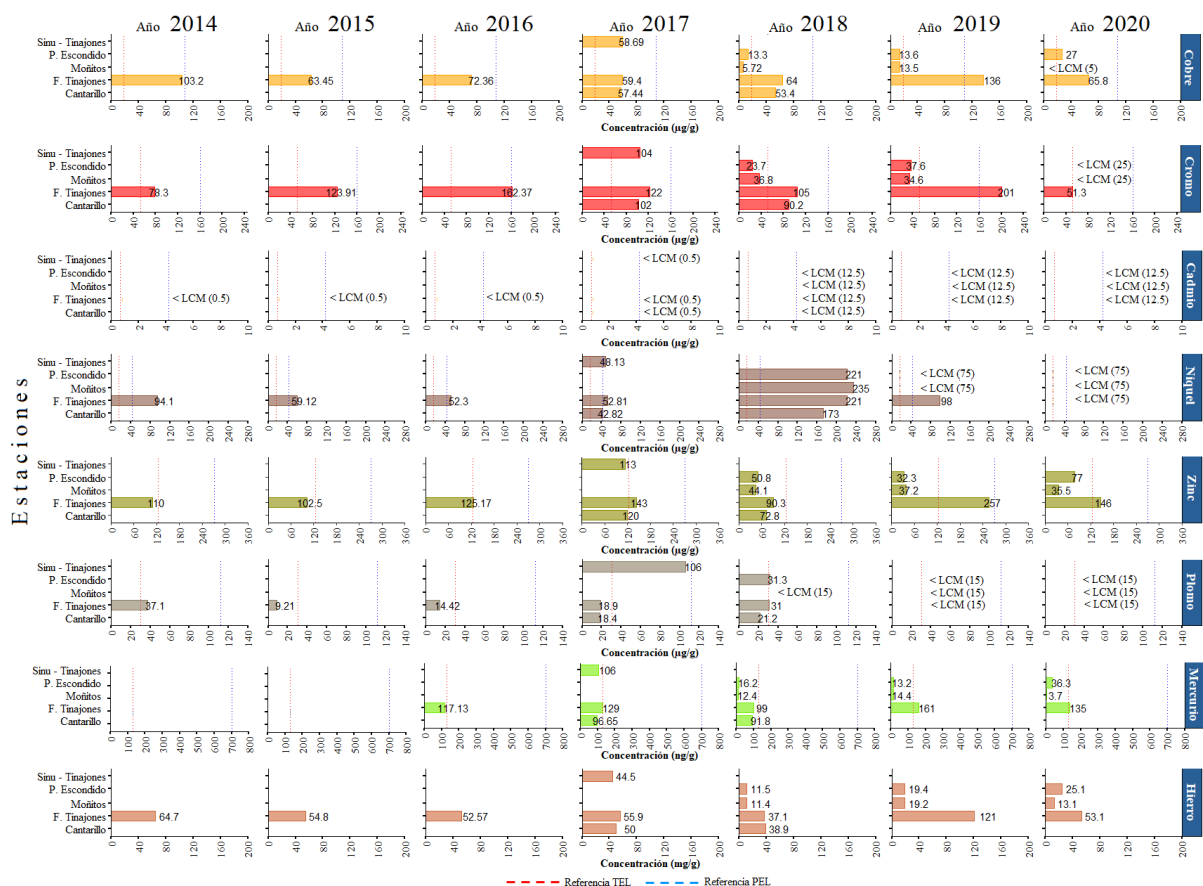


Figura 10-11. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos recopilados entre 2014 y 2020 en el departamento de Córdoba. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.

En sedimentos de agua dulce, las concentraciones máximas de metales reportados entre 2018 y 2020 variaron entre 30,3 y 112 µg/g para Cobre (Cu), 33,7 y 186 µg/g para Cromo (Cr), 80,9 y 118 µg/g para Zinc (Zn), 55,7 y 144 ng/g para Mercurio (Hg) y 30 y 48 mg/g para Hierro (Fe) (Figura 10-12). La concentración de los metales Niquel (Ni), Plomo (Pb) y cadmio (Cd), durante el periodo analizado estuvieron por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica usada por el LABCAM.

La concentración de Cu en los sedimentos de las estaciones Ostional y Río Sinú (Lorica), sobrepasaron los límites de referencia de efectos umbral (TEL) propuestos por la NOAA (Buchman, 2008), con excepción de la estación Río Sinú (Lorica), en el año 2020, donde la concentración de este metal fue más baja (Figura 10-12).

Las concentraciones de Cr en las estaciones analizadas entre el 2018 y 2020, estuvieron por encima del valor de referencia TEL (37,3 ng/g, Buchman, 2008); cabe destacar que en el 2019 las concentraciones de este metal estuvieron por encima del valor de referencia de efecto probable (PEL, 90 ng/g, Buchman, 2008).

En la muestra de sedimento de Río Sinú (Lorica), colectada en el año 2018 se registró una concentración de Ni por encima del valor de referencia PEL (36 µg/g; Buchman, 2008).

Las concentraciones de Zn, Pb y Hg, en ninguna de las estaciones, ni en ninguno de los años de muestreo, superaron los límites de referencia TEL y PEL propuestos por la NOAA (Buchman, 2008).

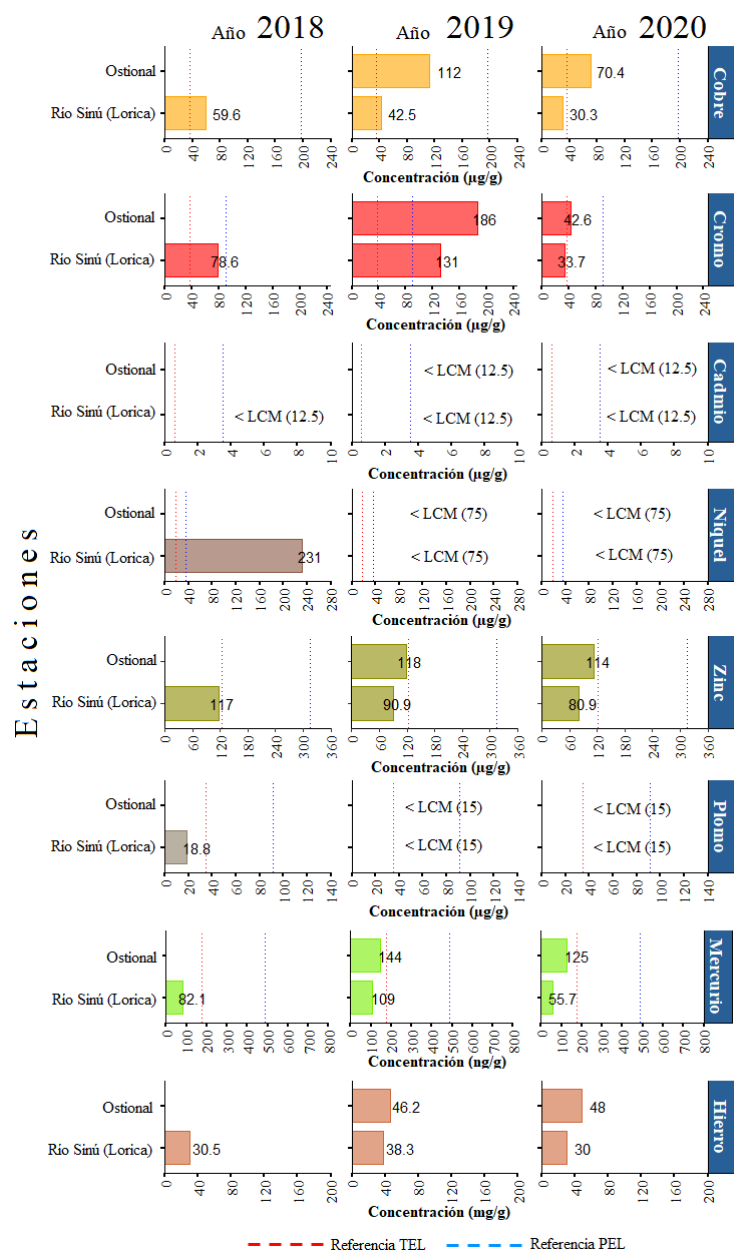


Figura 10-12. Concentración de metales totales en sedimentos de agua dulce recopilados entre 2018 y 2020 en el departamento de Córdoba. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos de agua dulce. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.

En los sedimentos recopilados en el departamento de Córdoba, se determinó que las concentraciones más altas de Cu, Cr y Zn se registraron para Sinu-Tinajones, Cantarillo y F. Tinajones; en esta última estación también se registraron las concentraciones más altas de Hg y Fe. Para sedimentos de agua dulce, en las estaciones Ostional y Río Sinú (Lorica) se registraron las concentraciones más altas de los metales Cu y Cr. En la estación Sinu-Tinajones se registraron las concentraciones más altas de Pb.

En el periodo comprendido entre 2014 y 2020, en el 86,4% de los sedimentos colectados en el departamento de Córdoba, los registros de plaguicidas organoclorados estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica usada en el LABCAM y el 12,7% de registros estuvo por debajo del límite de cuantificación (LCM). El 0,8% de valores plaguicidas detectados, entre los cuales se relacionan Organoclorados Totales (OCT); DDT Total: DDT + metabolitos (DDT); Endrin Cetona (P11); delta-HCH (P14); pp-DDT (P43); pp-DDE (P42), en concentraciones que oscilaron entre 5,1 y 11,6 ng/g (Figura 10 – 13).

Por otra parte, el 81,2% de los plaguicidas organofosforados estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica usada en el LABCAM, y el restante 18,8 por debajo del del límite de cuantificación (Figura 10 – 13).

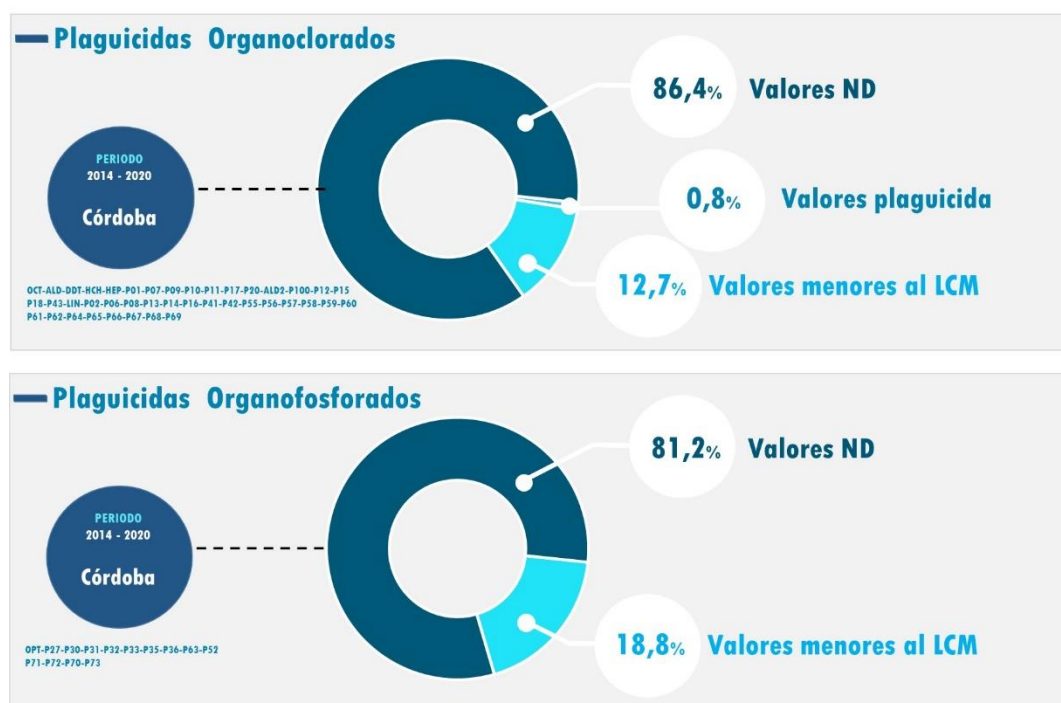


Figura 10-13. Representación histórica de los resultados de plaguicidas organoclorados y organofosforados medidos en las muestras de sedimento del departamento de Córdoba.

De la caracterización granulométrica de los sedimentos colectados en septiembre 2021, mostro que en la estación F. Tinajones, el sedimento es de tipo Lodoso (limo+arcilla, <63 μm), con diametro medio del grano de 16,3 μm (Figura 10-14 y Figura 10-15), manteniendose sin ningun cambio desde el año 2017 hasta la actualidad. El sedimento de las estaciones P. Escondido y Río Sinú (Lorica) estuvo conformado en su mayoría por arenas (Figura 10-14), con un tamaño

medio del grano de 110,4 y 122,7 μm respectivamente (Figura 10-15), caracterizando estos lugares con un tipo de sedimento de Arena muy fina. En la estación Moñitos el sedimento se identificó como tipo Arena Fina con diametro de partícula promedio de 137,2 μm (Figura 10-15 y Figura 10-15).

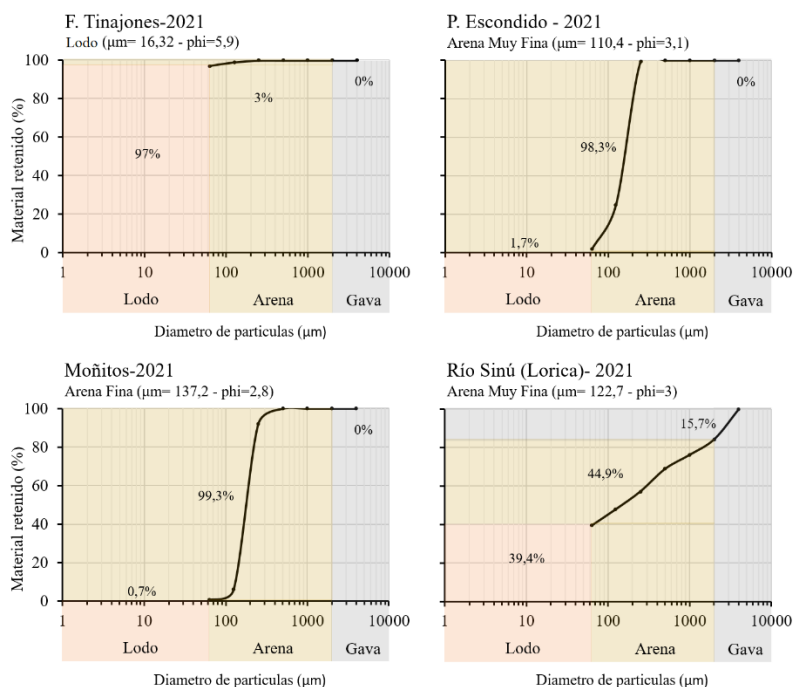


Figura 10-14. Curva granulométrica y clasificación del tipo de sedimento en las estaciones monitoreadas en el 2021 para el departamento de Córdoba.

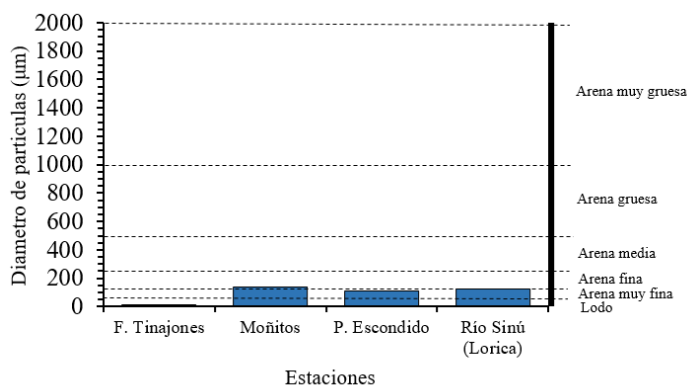


Figura 10-15. Tamaño medio de partícula del sedimento (μm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en el 2021 en el departamento de Córdoba. Las barras rojas y azules diferencian la época seca y lluviosa, respectivamente. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

En general, la estación frente Tinajones presentó las mayores concentraciones de metales en sedimentos marino/estuarinos con respecto a las demás estaciones (Figura 10-16), con registros muy cercanos y en algunos casos por encima del valor de referencia TEL (Buchman, 2008), con concentraciones de 62,8 $\mu\text{g/g}$ para Cu, 142 $\mu\text{g/g}$ para Cr, 116 $\mu\text{g/g}$ para Zn, 127 $\mu\text{g/g}$ para Hg y 44,3 $\mu\text{g/g}$ para Fe (Figura 10-16). En las estaciones P. Escondido y Moñitos, las concentraciones de los metales Cu, Cr, Zn, Hg y Fe estuvieron por debajo del valor de referencia para efectos

umbral (TEL; Buchman, 2008) (Figura 10-16). Las concentraciones de los metales Cd, Ni y Pb en todas las estaciones monitoreadas estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método empleado en el LABCAM ($LC_{Cd}=12,5 \mu\text{g/g}$; $LC_{Ni}= 75 \mu\text{g/g}$ y $LC_{Pb}= 15 \mu\text{g/g}$).

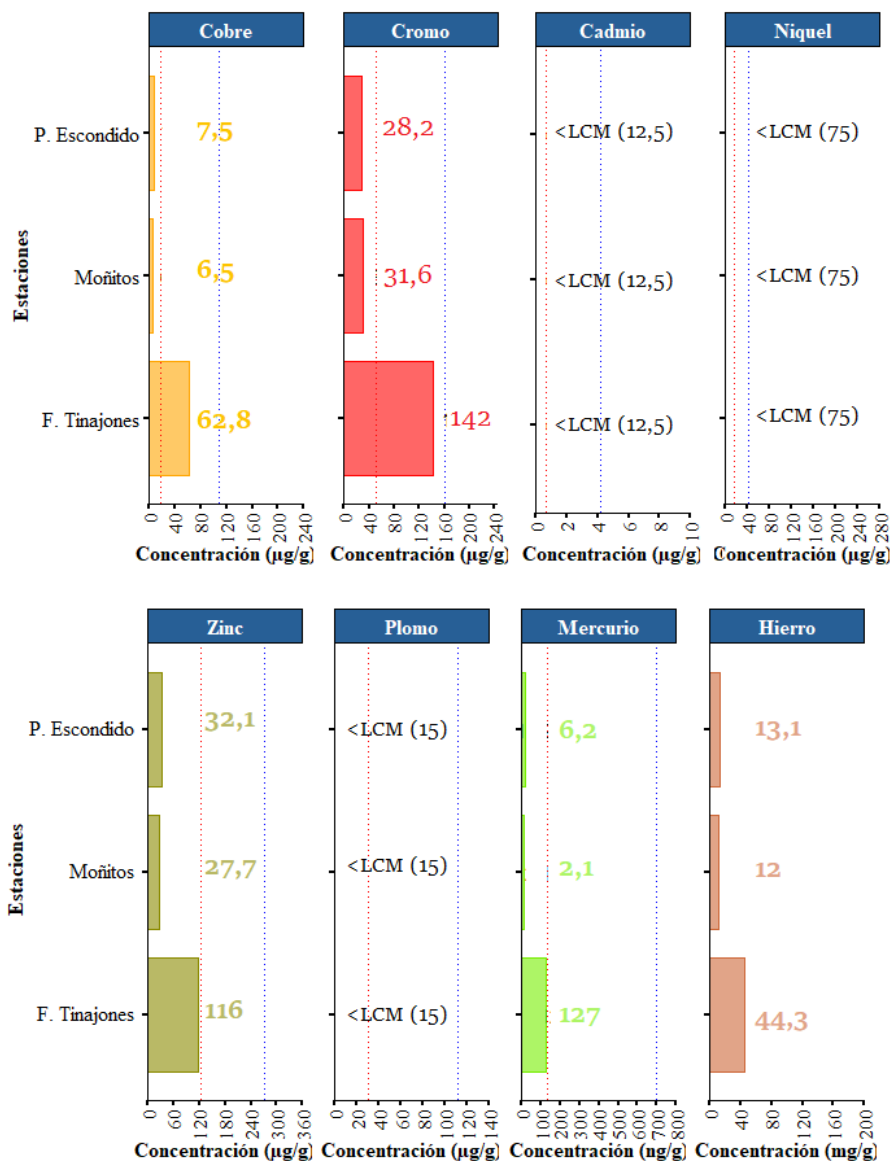


Figura 10-16. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos recopilados 2021 en el departamento de Córdoba. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.

10.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ Las aguas superficiales marinas y costeras del departamento de Córdoba tienen una alta carga de nutrientes inorgánicos disueltos (nitratos, amonio y ortofosfatos) que contribuyen al incremento de la productividad del sistema lagunar del DMI Cispatá, situación que de no ser controlada puede generar consecuencias directas sobre la conservación y biodiversidad del medio, ya que se aumenta la probabilidad de tener características de eutrofización costera.
- ❖ El análisis histórico del ICAM_{PFF} por estaciones, demostró la recurrencia en condiciones inadecuadas para las estaciones Puerto Escondido y Ciénaga la Soledad, condiciones que se intensifican durante los años La Niña, debido al incremento de las precipitaciones que favorecen el transporte de residuos líquidos y sólidos que son descargados en la zona marina y costera por las dinámicas hidrológicas del río Sinú y las escorrentías.
- ❖ Los niveles de cumplimiento de la calidad microbiológica de las playas de interés turístico han sido fluctuantes, con condiciones bajas para uso recreativo durante las épocas lluviosas, con picos durante eventos climáticos La Niña.
- ❖ El muestreo de septiembre 2021 mostró que en la estación del DMI Cispatá, se mantienen bajos los niveles de oxígeno disuelto, en particular en las estaciones brazo Caño Grande Ostional y Boca distrito riego Cantarillo, lo que se puede asociar a la dinámica del medio de un bosque de manglar inundado y a la incidencia de fuentes de contaminación. Además, se hacen reiterativas las condiciones microbiológicas poco favorables en Puerto Escondido, con niveles de CTE de 11.000 NMP/100mL que superan el límite máximo permisible para contacto primario, establecido en la legislación colombiana.
- ❖ La presencia de los metales totales Cr, Cu, Zn y Hg en el sedimento de las estaciones río Sinú en Lorica, Ostional y frente a Tinajones en concentraciones por encima de los valores de referencias para efectos umbral (TEL) propuestos por la NOAA, ratifica los hallazgos de metales de otros autores y se recomienda un estudio que permita inferir si son condiciones del medio natural o es el efecto de acciones antrópicas.

11. 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 y 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 gran 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 11-1) ([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.

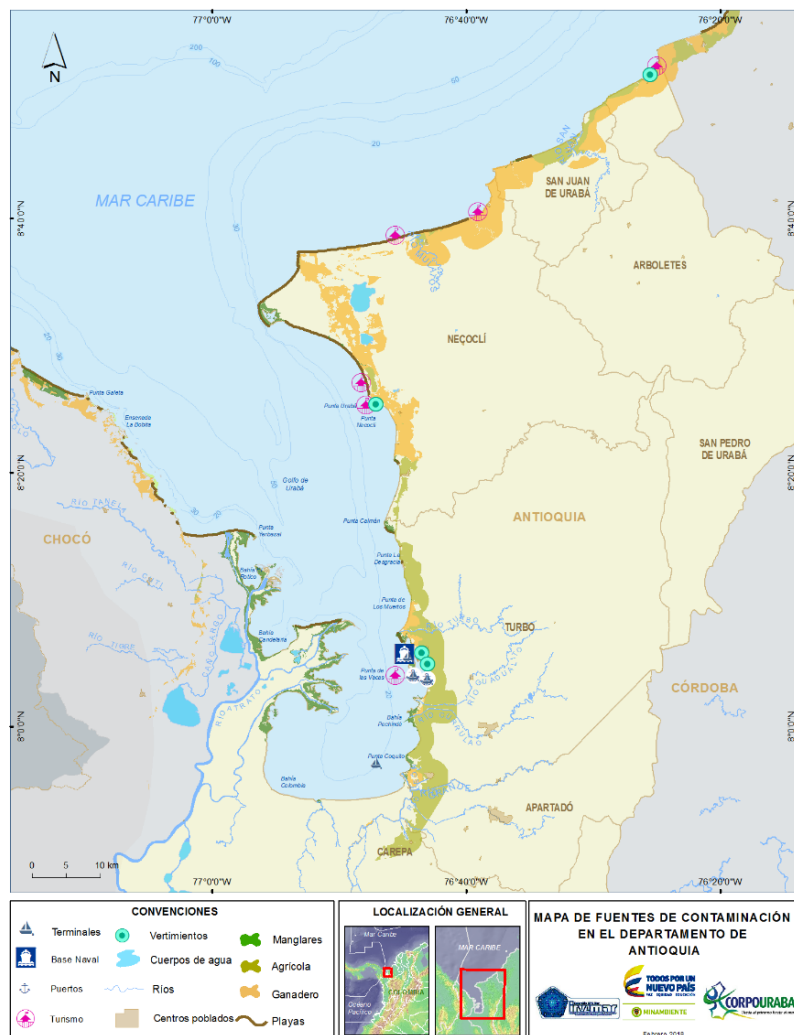


Figura 11-1. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Antioquia, Caribe colombiano.

En el departamento de Antioquia, la REDCAM cuenta con 27 estaciones de muestreo, distribuidas en cuatro zonas (Figura 11-2), **La zona de Bahía Colombia** que abarca el sector interno del golfo de Urabá, desde el delta del río Atrato, bahía Colombia y Turbo, en donde se desarrollan actividades turísticas, pesca y portuaria, esta zona tiene la mayor influencia de la desembocadura del río Atrato, río León, Leoncito, entre otros, que reciben residuos de las plantaciones bananeras, la ganadería y las descargas residuales de los asentamientos urbanos ([INVEMAR, 2018](#)); en esta zona hay once (11) estaciones de calidad de agua y cuatro (4) de sedimentos (desembocadura río Currulao, Guadualito, León y 1 km adentro del río León).. **La zona Golfo Medio**, donde se ubican los balnearios de interés turístico; esta zona está influenciada por las desembocaduras de los ríos, Turbo y Caimán cuenta con seis (6) estaciones de calidad de aguas, en tres (3) de las cuales se toman muestras de sedimentos (desembocadura río Caimán, río Turbo y bocatomía del río Turbo).. En **la zona Golfo Alto**, desemboca el río Necoclí y se encuentran la ensenada de Rionegro, sitios de interés pesquero y desarrollo de actividades de interés turístico. cuenta con tres (3) estaciones de aguas y una de sedimento (desembocadura del río Necoclí). Y **la zona San Juan de Urabá** que corresponde a la costa de los municipios de Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes, abarcando un área con interés turístico, pesquero y sus desembarcaderos de lancha menores y catamaranes; esta zona que está influenciada por los ríos Mulatos, Damaquiel, San Juan, Jobo y Arboletes, cuenta con siete (7) estaciones de aguas y cinco (5) de sedimentos (río Hobo y las desembocaduras de los ríos Mulatos, Volcán, Damaquiel y San Juan). Desde el 2001 el monitoreo REDCAM en Antioquia es realizado por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABÁ. El presente reporte contiene información del comportamiento de la calidad del agua del departamento desde 2001 hasta 2020.

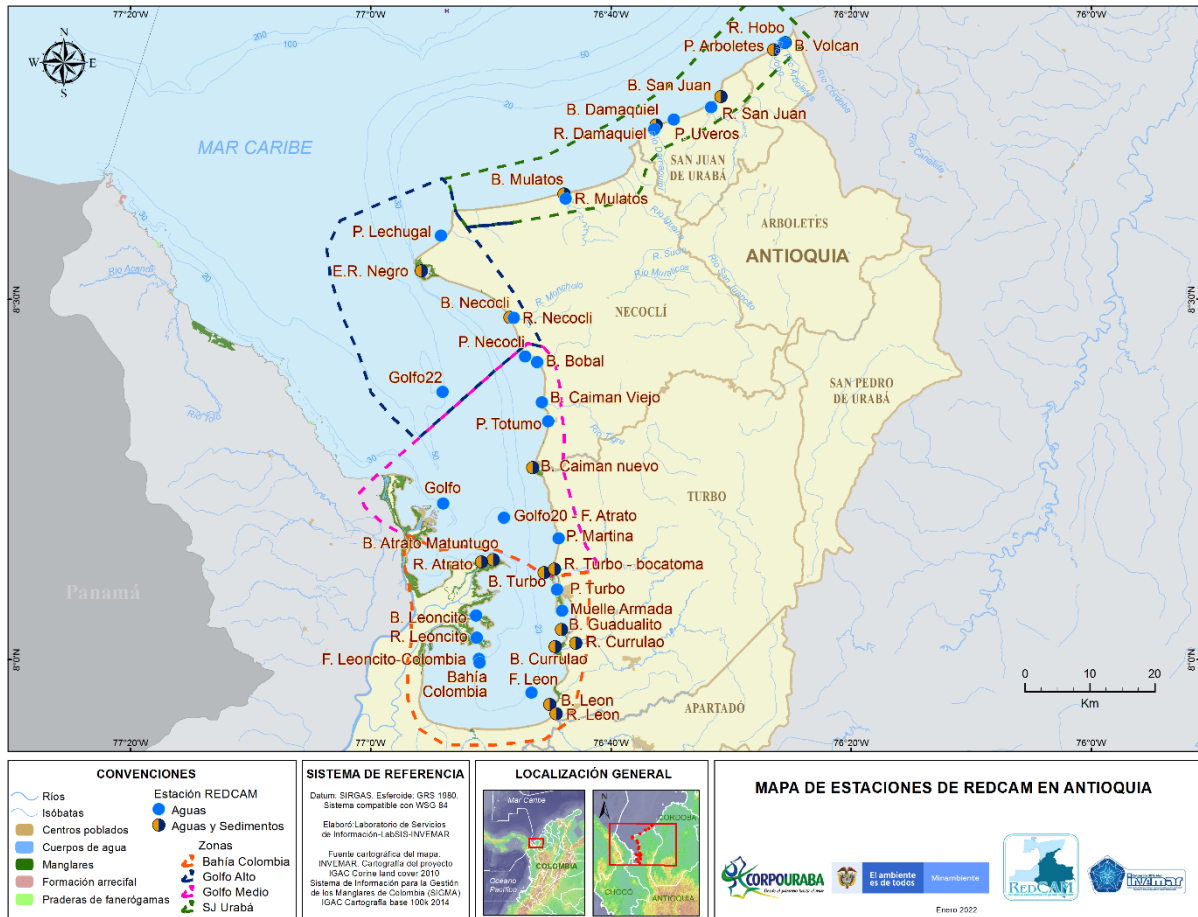


Figura 11-2. Mapa con las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Antioquia. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y los puntos bicolor (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimentos superficiales. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

11.1 CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS

11.1.1 Calidad de agua para la preservación de flora y fauna

El análisis histórico de la salinidad del agua medida entre los años 2001 y 2019 en las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia, permitió clasificar los tipos de aguas en marina, estuarina y dulce, tomando como referencia los rangos de salinidad descritos por Knox (2001). De las 27 estaciones analizadas, 55,5% fueron clasificadas como agua estuarina (15 estaciones), lo cual coincide con otros autores, donde se evidencia que el Golfo es uno de los mayores estuarios de Colombia, con flujos de circulación estuarina bien estratificadas a causa de los vientos (Toro *et al.*, 2019); el 33,3% se clasificaron como agua dulce (9), estaciones ubicadas en los ríos monitoreados o muy cercanos a estos, con excepción del R. Hobo que mostró características de tipo estuarina; y 11,1% como agua marina (3 estaciones).

El análisis entre épocas mostró que el departamento de Antioquia no presenta una tendencia común de valores de salinidad mayores en época seca. Las estaciones del Golfo Medio (P.

Martina, P. Necocli y P. Totumo) y en Bahía Colombia (F. Leoncito, Golfo 20-F, F. León, P. Turbo y Muelle Armada) mostraron los mayores valores de salinidad en época lluviosa (Figura 11-3). Lo anterior, puede estar relacionado a la extensión temporal de esta época por las altas precipitaciones propia de la zona, además las características oceánicas y costeras, asociadas a 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 y Bastidas, 2017](#)).

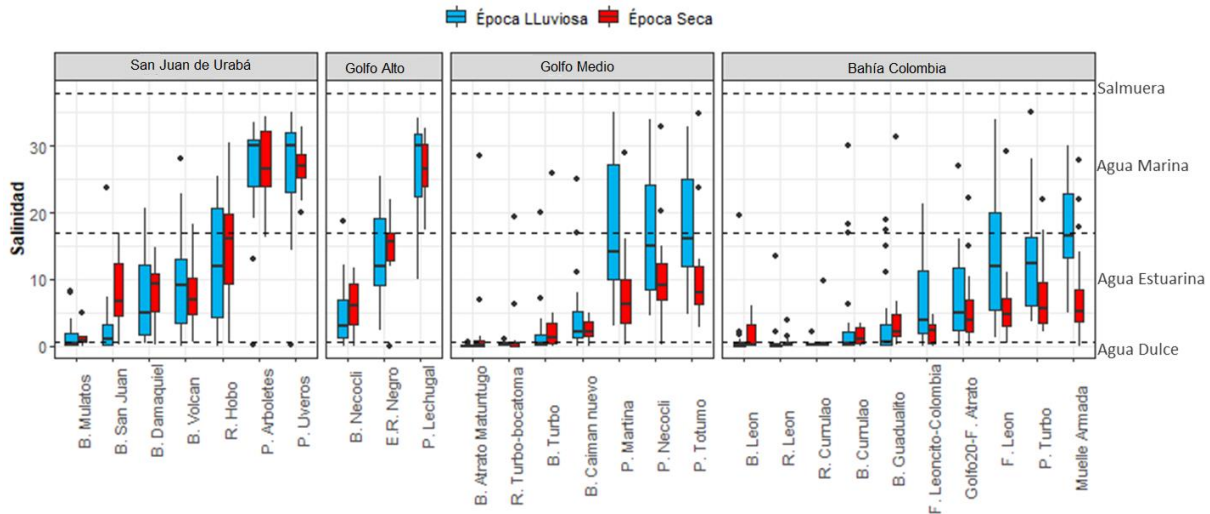


Figura 11-3. Gráfico de caja de la variación histórica (2001-2019) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Antioquia, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana 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 test Kruskal Wallis indicó que las concentraciones de pH, SST y NO_3 son estadísticamente diferentes entre los tipos de aguas dulce, estuarina y marina (p -Valor $< 0,05$). A través del análisis estadístico mediante la prueba de Wilcoxon, se determinó que los niveles de pH fueron estadísticamente significativos entre todos los tipos de aguas (p -valor $< 0,05$). Condiciones que son comunes en cuerpos de aguas costeros semicerrados, como, el Golfo de Urabá, dentro del cual se dan interacciones de tres tipos de masas de aguas, una masa marina con pH básico, un agua estuarina con pH más neutro y un tipo de agua dulce con pH ligeramente ácidos, donde el resultado final es una interacción de las tres masas de aguas ([Carro et al., 2006](#)). Esta representación histórica permitió observar que los niveles de pH han tenido un comportamiento adecuado (Figura 11-4), manteniéndose dentro de los rangos estipulados para la preservación de flora y fauna, tanto para aguas dulces (pH entre 4,0 a 9,0) como estuarinas y marinas (pH entre 6,5 a 8,5; [MinAmbiente, 2015](#)).

El análisis de los registros históricos de las concentraciones de OD mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de OD con respecto a los tipos de aguas (P - Valor $> 0,05$). Las estaciones B. León, R. León, B. Necocli y B. Volcán, presentaron una distribución de los datos por debajo del valor de referencia de calidad establecido por la legislación colombiana para preservación de flora y fauna (4 mg/L;

[MinAmbiente, 2015](#)). Los registros históricos de la estación B. Volcán da evidencia de la carga de DBO producida por el río Volcán, fuente de contaminación identificada dentro del monitoreo REDCAM, lo cual no permite alcanzar de manera continua en los últimos años las condiciones deseadas de oxígeno disuelto ($OD > 4$ mg/L). Estos resultados muestran la necesidad de intervención inmediata en el sistema de tratamiento de aguas residuales de este municipio, infiriendo que es poco eficiente. 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 contribuyen al aumento de eutrofización costera.

Las concentraciones de SST evidenciaron diferencias en las estaciones de agua estuarina, con respecto a las de agua dulce y marina (p -valor $< 0,05$). En las estaciones de tipo agua dulce, situadas en la zona del Golfo, los valores de SST son altos con respecto a las demás estaciones (Figura 11-4), con concentraciones entre 0,1 y 38.515 mg/L, particularmente en las estaciones B. Atrato Matuntugo, B. Currulao, B. Guadualito, B. León, R. Currulao, R. León, R. Turbobocatoma y B. Turbo, estaciones influenciadas por los brazos predominantes del río Atrato que contienen partículas del suelo y material orgánico que se producen a lo largo de la zona hidrográfica. En la estación B. Mulatos, ubicada en la zona San Juan de Urabá, los SST oscilaron entre 11 y 5.753 mg/L; y en las estaciones marinas P. Arboletes y P. Uveros entre 17,2 y 2.932 mg/L. Las altas concentraciones se evidenciaron en el año 2011, época de grandes precipitaciones debido al fenómeno de La Niña 2010-11, el cual ha sido uno de los más fuertes en la historia ([Euscátegui & Hurtado, 2011](#)), cuya repercusión debió incurrir sobre el río Mulato, Volcán y otras quebradas adyacentes a las estaciones mencionadas, aumentando las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales.

En la mayoría de estaciones analizadas se registraron las concentraciones de SST por debajo del límite permisible para agua contaminada ($\text{Log SST} > 2,1$ mg/L o $\text{SST} > 150 \leq 400$ mg/L; [CONAGUA, 2015](#)), sin embargo se encuentran en el límite de indicio de contaminación ($\text{Log SST} > 1,8$ o $\text{SST} > 75$ mg/L), condiciones que evidencian la relevancia de las más de 10 cuencas de tributarios que desembocan en el Golfo de Urabá y San Juan de Urabá ([Castaño, 2002](#)), donde sobresalen el río Atrato, río León, Turbo y Volcán que reciben las escorrentías agrícolas y ganaderas, y las descargas de aguas residuales domésticas; lo que produce incrementos en las concentraciones de nutrientes inorgánicos (nitratos y fosfatos), Coliformes Termotolerantes, Sólidos Suspendidos Totales, y bajas de Oxígeno Disuelto. Los ríos Atrato, León, Currulao, Turbo, entre otros, vierten sus aguas trayendo consigo una gran carga sedimentaria en suspensión que influye en la dinámica del Golfo ([Velásquez, 2013](#)).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) fue alta en la estación B. Volcán, ubicada en la zona San Juan de Urabá (0,9 a 297 mg/L) (Figura 11-4), dejando en evidencia que existe un proceso de oxidación de materia orgánica alto en este sitio, donde además se registraron concentraciones de oxígeno disuelto inferiores al criterio de calidad de la legislación colombiana para preservación de flora y fauna (4 mg/L; [MinAmbiente, 2015](#)). La estación B. Volcán se ubica en la desembocadura del Río volcán, el cual atraviesa el casco urbano de Arboletes. Históricamente se han registrado porcentajes de aguas residuales del casco urbano que es vertida al río y otros caños, sin pasar previamente por tratamiento de reducción de carga orgánica contaminante ([MinAmbiente & CORPOURABA, 2007](#)). Si bien este municipio cuenta con una cobertura del sistema de alcantarillado de 95,17%, la expansión urbana es notable, y de acuerdo a información suministrada por la empresa prestadora de servicios A.A.S. S.A E.S.P, gran

porcentaje de la red municipal se encuentra fuera de servicio y la capacidad hidráulica del sistema no es suficiente para transportar el agua residual recolectada, por lo que se generan reboses en el sistema y contaminación al río Volcán (CORPOURABA, 2018). Lo anterior, influye directamente al agotamiento del oxígeno por procesos biológicos presentes en los cuerpos de aguas contaminadas (Guillen, 2021).

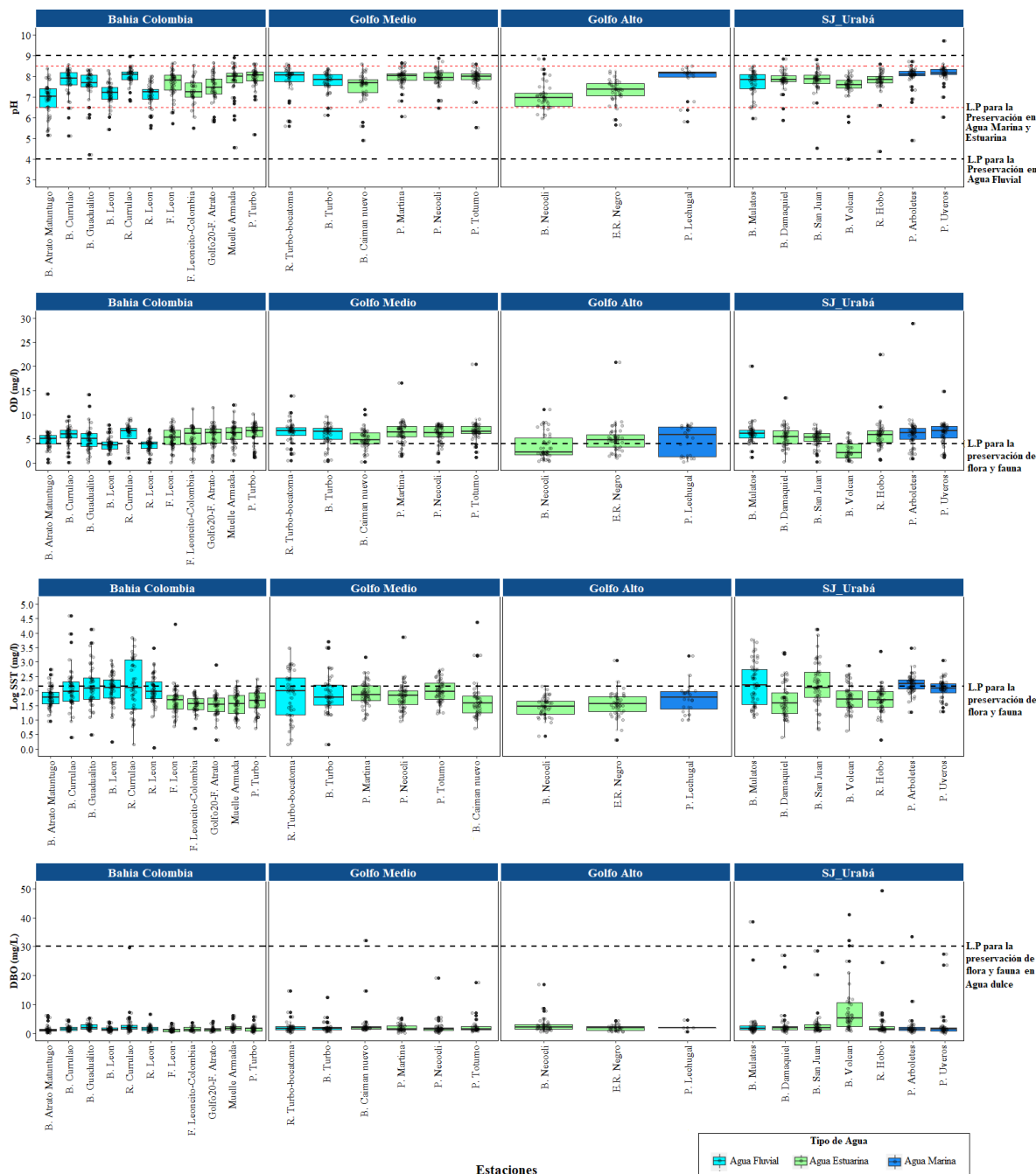


Figura 11-4. Registros históricos (2001-2020) de pH, Oxígeno Disuelto (OD), sólidos Suspendedos Totales (SST) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) medidos en las estaciones vigentes, diferenciado por zona y tipo de agua. En donde se indican los límites permisibles para OD y pH estipulados por MinAmbiente (2015) y, DBO y SST por CONAGUA (2015). Límite Permissible (L.P).

Las concentraciones de NO₃ fueron más altas en las estaciones de agua dulce, con respecto a las estuarinas y marinas (p-valor<0,05) (Figura 11-5). Se ha evidenciado que los sistemas estuarinos son los principales receptores de nutrientes provenientes de la descarga de los ríos, los cuales recogen y transportan a lo largo de la zona hidrográfica aportes significativos generados por acción antropogénica (Noriega *et al.*, 2009). Cabe mencionar que no se encontraron diferencias significativas (p-valor > 0,05) entre zonas (Bahía Colombia, Golfo Medio, Golfo Alto y San Juan de Urabá).

Para el PO₄ no se encontró diferencias significativas entre los tipos de aguas (p-valor > 0,05), sin embargo, las diferencias entre zonas fueron notable, donde San Juan de Urabá mostró una variación con respecto a las demás zonas estudiadas (Figura 11-5). Particularmente se logró evidenciar en los últimos años (2017 – 2020) valores de PO₄ altos en la estación B. Volcán, en comparación con las demás estaciones, con registros de hasta 4.650 µg/L. Estas concentraciones implican el crecimiento acelerado de algas y plantas en el cuerpo de agua (Flores & Fernández, 2021), que producen una disminución del oxígeno disuelto lo que concuerda con lo evidenciado en la Figura 11-4.

La desembocadura del río Volcán, es la fuente identificada dentro del monitoreo REDCAM, con mayores problemas de calidad; resultados que muestran la necesidad de intervención inmediata en el mejoramiento de la calidad de esta fuente, lo anterior basado en los registros históricos de parámetros del monitoreo REDCAM, posiblemente porque este cuerpo de agua pasa por la cabecera municipal y recibe las descargas de la PTARD Urbana en mal estado a partir del 2018, infiriendo que el tratamiento de aguas residuales de este municipio es poco eficiente.

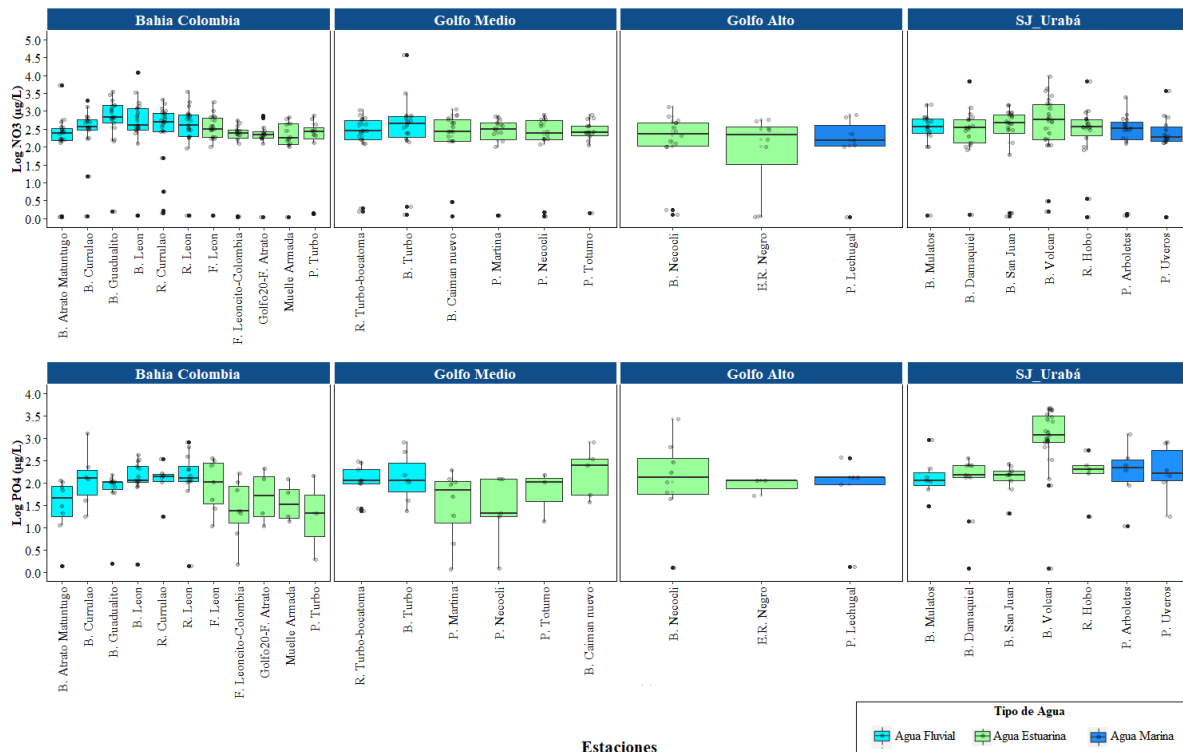


Figura 11-5. Registros históricos (2012-2020) de Nitrato (NO₃) y Ortofosfato (PO₄) medidos en las estaciones vigentes, diferenciado por zona y tipo de agua.

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

La calidad microbiológica de las aguas de los sitios turísticos P. Turbo, P. Totumo, P. Necoclí, P. Martina, P. Lechugal, B. Damaquiel, P. Uveros y P. Arboletes se analizó a partir de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE), contrastados con los valores de referencia de límites permisibles para uso recreativo de contacto primario de <200 NMP/100ML de CTE, <1000 NMP/100mL de CTT ([MinAmbiente, 2015](#)) y <100 UFC/100mL (Unión Europea, 2006).

Desde el año 2001 al 2020, en todas las estaciones se ha registrado un nivel de cumplimiento medio y bajo (Figura 11-6), lo cual disminuye el uso de estos sitios para actividades recreativas de acuerdo a las normativas vigentes. Las altas concentraciones de estos microorganismos provienen de las poblaciones costeras y de la actividad ganadera, a través de afluentes y efluentes ([Lonin et al., 2005](#)), teniendo una relación directa con otros factores ambientales como las precipitaciones y la descarga de agua de los ríos. No obstante, se suman las características oceánicas del golfo de Urabá y las condiciones atmosféricas particulares (Vientos) que afectan el comportamiento de las aguas en el área ([Toro et al., 2019](#)).

Las mayores concentraciones de CTE en la última década se registraron 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. Las concentraciones más altas de CTT se registraron 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, las cuales aún persisten en la actualidad. Estos microorganismos están asociados a la contaminación de origen fecal, lo que refleja la carencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales en las poblaciones urbanas y rurales del departamento ([MinAmbiente & CORPOURABA, 2007](#); [CMGRD, 2017](#)). Las altas concentraciones de Coliformes Termotolerantes en cuerpos de agua producen enfermedades gastrointestinales, por ende, se deben buscar las medidas necesarias para disminuir la carga microbiológica producida por las constantes descargas de aguas residuales, que llegan finalmente hasta los sitios de uso turístico y recreativo a través de las corrientes fluviales.

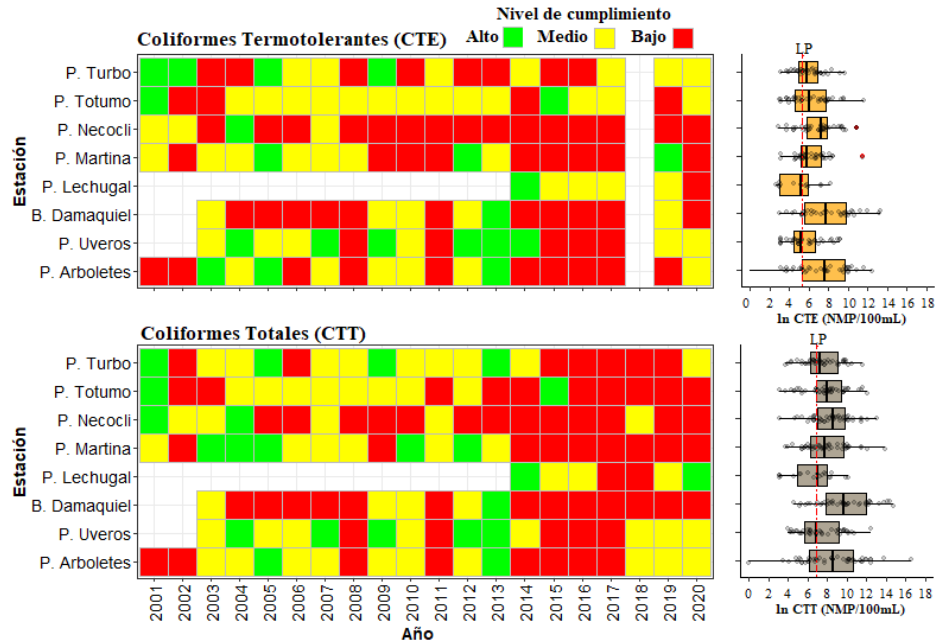


Figura 11-6. Registros históricos del cumplimiento de indicadores microbiológicos de calidad del agua para el uso recreativo en Antioquia. Nivel de cumplimiento: Alto, el 100% de las mediciones anuales cumplieron con el límite permisible; Medio, ≥ 50 y $< 100\%$ de las mediciones anuales cumplieron con el límite permisible; Bajo, $< 50\%$ de mediciones anuales cumplieron con el límite permisible. Límite Permisible (LP).

11.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

Las concentraciones de metales pesados en sedimentos superficiales de muestras tomadas en estaciones de ambientes marinos y estuarinos en los años 2014, 2019 y 2020, variaron entre 2,4 $\mu\text{g/g}$ y 47,5 $\mu\text{g/g}$ para Cobre (Cu), 5,8 $\mu\text{g/g}$ y 118,4 $\mu\text{g/g}$ para Zinc (Zn), 1,3 $\mu\text{g/g}$ y 19,6 $\mu\text{g/g}$ para Plomo (Pb) (Figura 11-7). El Cadmio (Cd) mostró la mayoría de registros por debajo del Límite de Cuantificación del método usado por el LABCAM, en 2014 y 2019 ($LC=0,5 \mu\text{g/g}$) y 2020 ($LC=0,3 \mu\text{g/g}$), no obstante, para 2020 se determinó una concentración de 0,44 $\mu\text{g/g}$ en la estación E. R. Negro situada en la zona del Golfo Alto.

En las estaciones E.R Negro, B. Necoclí, R. Hobo, B. San Juan y B. Caimán Nuevo las concentraciones de Cu sobrepasaron el límite de referencia para efectos umbral (TEL: 18,7 $\mu\text{g/g}$ Cu), propuesto por la NOAA (Buchman, 2008). Por otro lado, B. San Juan y B. Damaquiel mostraron los registros más altos de Zn, muy cercanos al valor de referencia TEL: 124 $\mu\text{g/g}$ Zn. Por el contrario, los valores de Pb se evidenciaron por debajo del límite de referencia TEL: 30,2 $\mu\text{g/g}$ Zn en todos los años analizados.

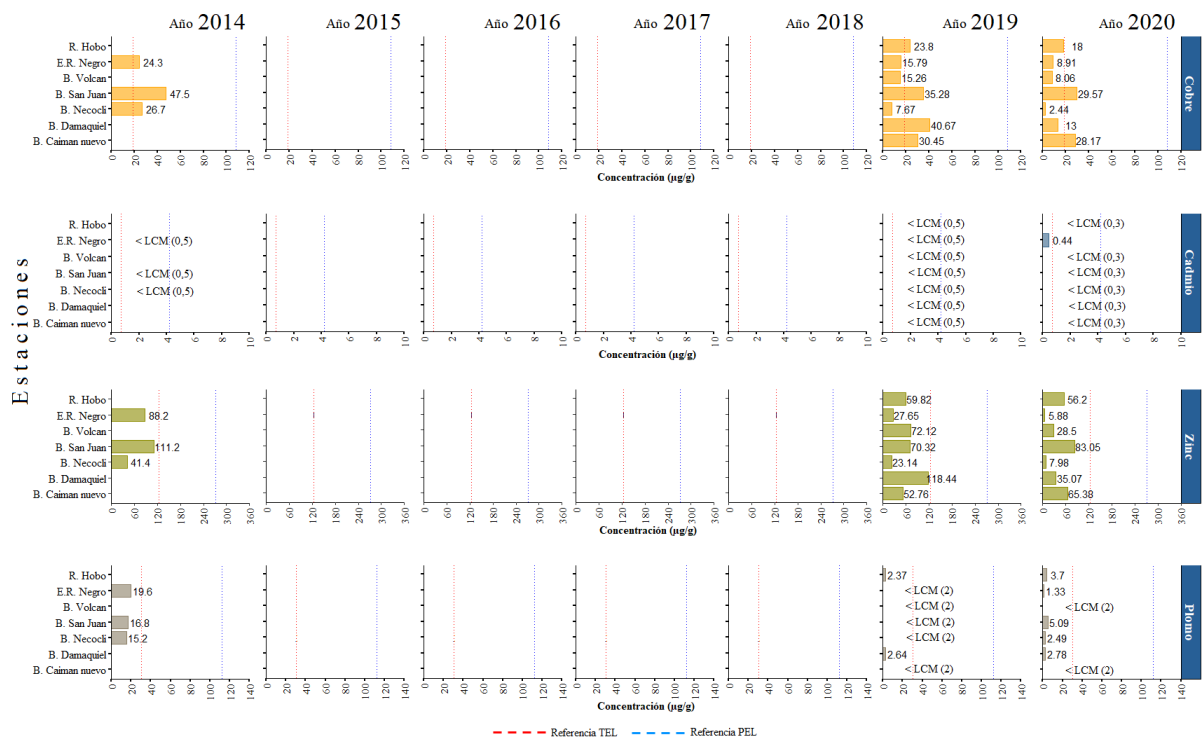


Figura 11-7. Concentración de metales totales en sedimentos marinos y estuarinos recopilados entre 2014, 2019 y 2020 en el departamento de Antioquia. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos 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.

Las concentraciones de metales en las muestras de sedimentos superficiales de agua dulce recolectadas en los años 2014, 2019 y 2020, variaron entre 18,2 µg/g y 63,4 µg/g para Cobre (Cu), 48,4 µg/g y 147,6 µg/g para Zinc (Zn), 1,5 µg/g y 23,7 µg/g para Plomo (Pb) (Figura 11-8). El Cadmio (Cd) en la mayoría de las observaciones estuvo por debajo del Límite de Cuantificación del método usado por el LABCAM, en 2014 y 2019 (LC=0,5 µg/g) y 2020 (LC=0,3 µg/g), no obstante, para 2020 se determinaron concentraciones de 0,4 y 0,3 µg/g en las estaciones B. Guadualito y B. Atrato Matuntungo respectivamente.

En la mayoría de las estaciones las concentraciones de Cu estuvieron cerca y por encima del valor de referencia para efectos umbral (TEL: 35,7 µg/g Cu). Los niveles de Zn se encontraron por debajo del valor TEL: 123 µg/g Zn, a excepción de las estaciones B. León y B. Turbo que presentaron registros por encima del valor TEL en 2014 y 2019, respectivamente.

Las concentraciones de Cu, Pb y Zn, detectados en el Golfo de Urabá tanto para muestras de fondo tipo agua estuarina y marina, como también para agua dulce, ponen a los sedimentos como un indicador de riesgo ecológico (Palacios *et al.*, 2020), afectando a peces con tendencia bentónica (Padilla, 2020), los cuales tienen la capacidad de almacenar en sus organismos concentraciones de estos metales, por lo que hoy día son utilizados como indicadores de contaminación (Mancera *et al.*, 2006).



Figura 11-8. Concentración de metales totales en sedimentos de agua dulce recopilados entre 2014, 2019 y 2020 en el departamento de Antioquia. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos de agua dulce. 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

11.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ El análisis histórico de la calidad del agua marina y costera mostró un deterioro de las condiciones para la preservación de la flora y fauna en ciertas estaciones REDCAM en Antioquia, debido a las condiciones de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales y nutrientes que se ven afectadas por las descargas de aguas residuales domésticas y algunos ríos que se comportan como fuentes receptoras de vertimientos urbanos del eje bananero que desembocan en el río León, que es uno de los principales cuerpos de agua sobre el Golfo de Urabá. Dichas condiciones se intensifican durante los años La Niña debido al incremento de las precipitaciones que influyen en el transporte de residuos sólidos.
- ❖ Las playas turísticas Turbo, Totimo, Necoclí, La Martina, Lechugal, Damaquiel, Uveros y Arboletes han presentado de manera reiterativa condiciones microbiológicas inadecuadas para uso recreativo, al presentar concentraciones de Coliformes Termotolerantes y Totales por encima del criterio de calidad para el uso recreativo del agua según la normatividad colombiana. Se requiere de un estudio puntual para cuantificar las afectaciones de esta contaminación en el turismo y la percepción de los turistas sobre la calidad de las playas, que contribuya al manejo y mejoramiento de su calidad ambiental.
- ❖ Los metales pesados medidos en los sedimentos permitieron evidenciar la presencia de concentraciones de Cu que sobrepasaron los valores de referencia TEL propuestos por la NOAA. Por lo cual se debe realizar investigación que permita identificar las fuentes de contaminantes que influyen directamente en el aumento de Cu en los sedimentos, así mismo establecer medidas de control para mitigar dichos impactos.

12. DEPARTAMENTO DE CHOCÓ

El departamento de Chocó tiene costa en el Caribe y Pacífico colombianos, abarcando parte de los municipios Acandí y Uguúá 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 y 9.000 mm, y en las áreas marina y costeras hay presencia de manglares, algunos parches de pastos marinos, formaciones coralinas, playas, estuarios y acantilados (IDEAM *et al.*, 2007; 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 12-1).

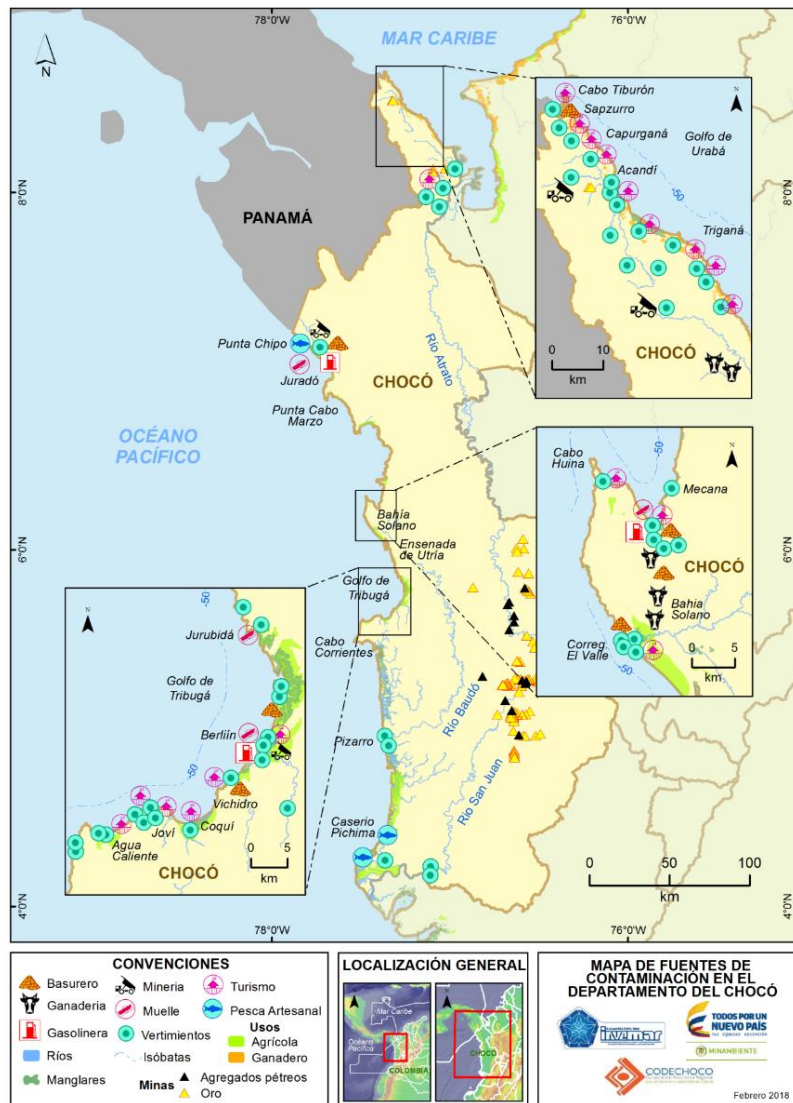


Figura 12-1. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Chocó, regiones Caribe y Pacífico colombiano.

En el departamento de Chocó, la REDCAM tiene 16 estaciones de muestreo, distribuidas en dos zonas (Figura 11-2). La **zona Bahía Solano**, caracterizada por la presencia de la serranía del Baudó, donde se realizan las actividades de pesca y 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.

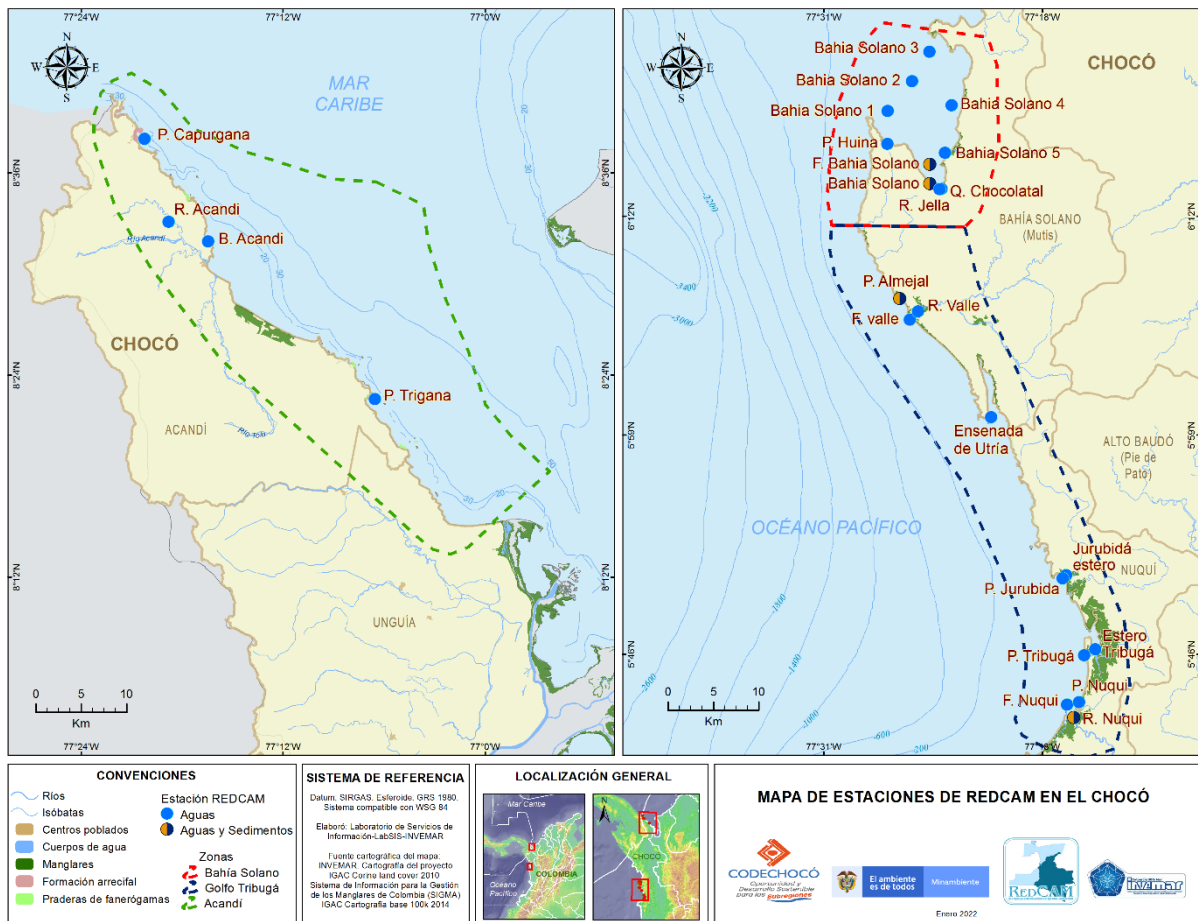


Figura 12-2. Mapa con las estaciones históricas de muestreo REDCAM en el departamento del Chocó. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y el punto bicolor (azul y marrón) corresponde a la estación donde se tomaron muestras de agua y sedimentos. Los polígonos punteados presentan las dos zonas de muestreo.

Desde el 2002, el monitoreo REDCAM en Chocó se ha realizado en cooperación entre el INVEMAR y la Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó - CODECHOCÓ. En el año 2020, debido al aislamiento obligatorio para prevenir el contagio y propagación de la COVID-19 decretado por el Gobierno Nacional, no se realizaron monitoreos de calidad del agua. Por lo cual, el presente reporte contiene información del comportamiento de la calidad del agua con datos colectados entre 2002 y 2019.

12.1 CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS

12.1.1 Calidad de agua para la preservación de flora y fauna

Los análisis históricos (2001 y 2019) de salinidad para las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, permitieron clasificar los tipos de agua en dulce, estuarinas y marinas según los rangos para tipo de agua establecidos por [Knox \(2001\)](#). De las 16 estaciones analizadas, 68,8% se calificaron como agua marina (11), 12,5% como agua estuarina (2) y 18,8% como agua dulce (3) (Figura 12-3). 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 12-3). 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](#)).

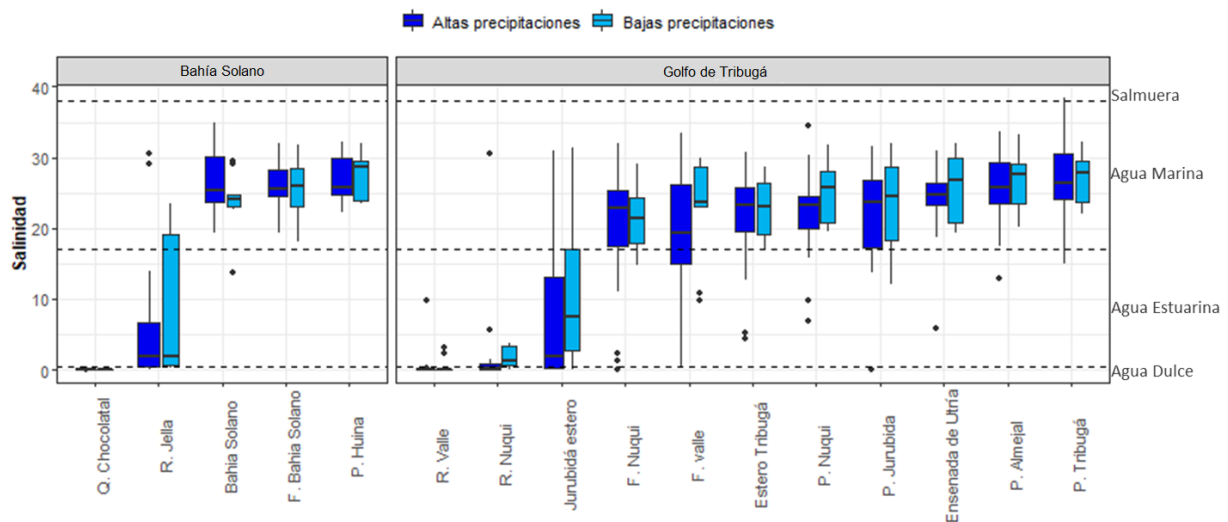


Figura 12-3. Gráfico de caja de la variación histórica (2001-2019) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Chocó, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los 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).

Históricamente las aguas marinas y costeras en las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, han presentado en la mayoría de los años condiciones de calidad adecuada para la preservación de flora y fauna (Figura 12-4). Sin embargo, los resultados del ICAM_{PPF} muestran la influencia que tienen las precipitaciones sobre la calidad del agua en la zona costera de Nuquí, Tribugá y Bahía Solano. En los periodos 2002 a 2005 y 2012 a 2014, se evidenció un incremento en el deterioro de la calidad del agua, con condiciones aceptables e inadecuadas, cuyos cambios estuvieron influenciados por tensores naturales, como la variabilidad climática producida por el

evento La Niña ([IDEAM, 2017](#)), que genera el aumento de lluvias y como consecuencia el incremento de escorrentías urbanas y agrícolas que llegan finalmente a las fuentes tributarias, como, el río Nuquí que recibe las aguas de diferentes quebradas y rodea la cabecera municipal de Nuquí, trayendo consigo los residuos líquidos y sólidos que genera la población ([INVEMAR, 2020](#)), el río Tribugá que recibe aguas de las quebradas Tigre, Tigrecito, Agua Blanca y Potrero, receptoras de aguas residuales sin tratamiento previo ([ANLA, 2020](#)), y, finalmente el río Jella que recibe los residuos de agua sin tratamiento de Ciudad Mutis y las quebradas afluentes ([Solano, 2012](#)), las cuales, de manera general afectan la calidad del agua marino costera al llegar a sus desembocaduras.

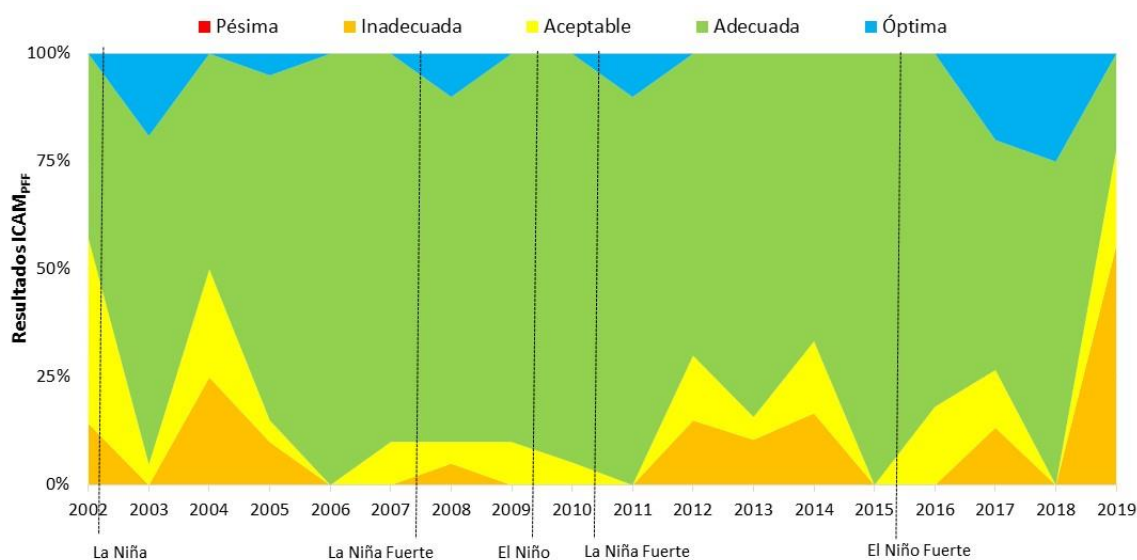


Figura 12-4. Evolución histórica del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PFF}) en el periodo 2002 a 2019 en el departamento Chocó, estaciones de muestreo en el Pacífico. Las líneas transversales negras indican años con una incidencia del evento El Niño y La Niña según NOAA (2020).

Durante el periodo analizado no se observaron estaciones con calidad de agua pésima. No obstante, el análisis detallado por estaciones mostró para el año 2019 un aumento de sitios con condiciones de calidad del agua inadecuada y aceptable (Figura 12-5), debido al evento climático El Niño. Esta tendencia fue notable para el conjunto de sitios muestreados en el Golfo Tribugá, específicamente en P. Nuquí, F. Nuquí, F. Valle, Jurubidá estero, P. Almeja, P. Jurubidá y, también, en la zona Bahía Solano exactamente la estación denominada con el mismo nombre. Cabe mencionar que, pese a la ausencia de fuertes lluvias, el aumento del deterioro de la calidad ambiental marina se ve influenciada por la baja cobertura del sistema de alcantarillado que tienen algunos de los municipios de la zona, como Nuquí y Bahía Solano que solo cuentan con un 37% y 40% de cobertura de sistema de alcantarillado convencionales ([Gobernación del Chocó, 2020](#)), incluso algunas viviendas utilizan mecanismos como pozos sépticos, pero con desagües de aguas residuales hacia las quebradas aledañas o directamente al mar ([Solano, 2012](#)). Estos factores se ven reflejados en las altas concentraciones de Coliformes Termotolerantes encontradas en 2019, con registros de hasta 24.000 NMP/100 mL.

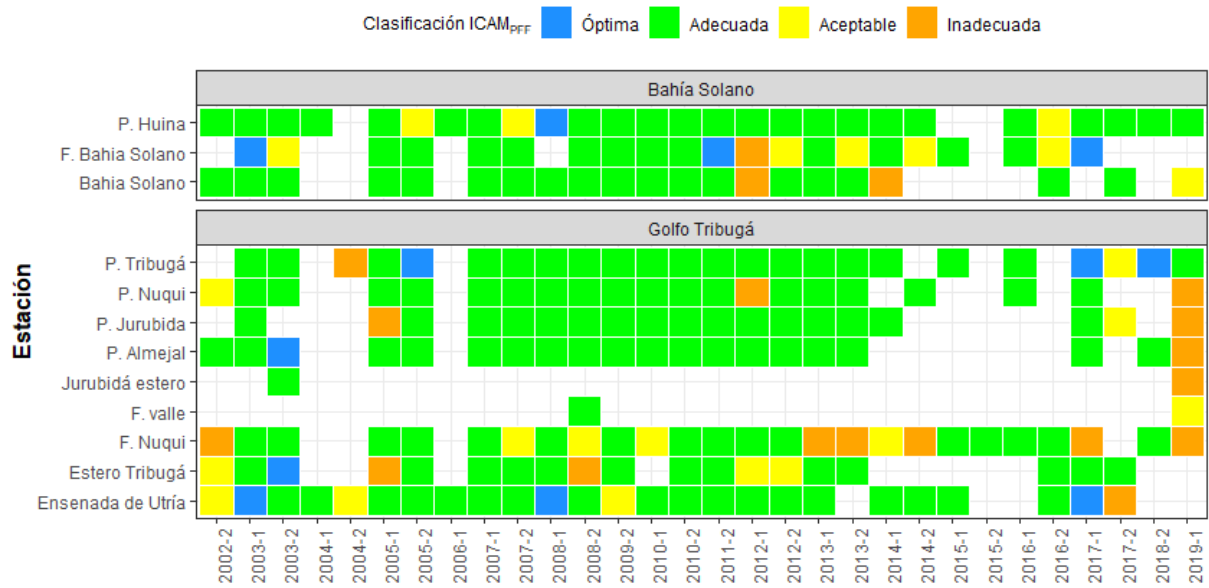


Figura 12-5. Resultados históricos de la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las estaciones REDCAM en Chocó ubicadas en el Pacífico, entre los años 2002 al 2019.

12.1.2 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), Coliforme Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) en los sitios de uso turístico y recreativo de la zona marina y costera del departamento del Chocó (Figura 12-6).

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. Jurubida, Bahía Solano y P. Nuquí, donde el total de las muestras recopiladas no cumplieron con el límite permisible de calidad del agua para uso recreativo establecido por [MinAmbiente, \(2015\)](#) (CTE<200 NMP/100mL y CTT<1000 NMP/100mL), teniendo registros de hasta 5.400 NMP/100 mL CTE y 9.200 NMP/100 mL CTT en P. Jurubida; 2.400 NMP/100 mL CTE y 38.730 NMP/100 mL CTT en Bahía Solano; 24.000 NMP/100 mL CTE y 28.000 NMP/100 mL CTT en P. Nuquí, dichas concentraciones se encuentran influenciadas por el desarrollo de actividades domésticas del casco urbano.

De igual manera, fue notable un incremento del número de estaciones con niveles de cumplimiento medio y bajo entre los años 2016 y 2019, sumándose P. Tribugá, P. Almeja y P. Huina, con registros de hasta 1.700 NMP/100 mL de CTE y 5.400 NMP/100 mL de CTT; 9.200 NMP/100 mL de CTE y CTT, 1.600 NMP/100 mL de CTE y 16.000 NMP/100 mL de CTT, respectivamente. El crecimiento poblacional y el desarrollo de actividades socioeconómicas en el entorno son los responsables del aumento en la contaminación por vertimientos líquidos y sólidos ([Martínez et al., 2014](#)).

En términos de Enterococos Fecales (EFE), se evidenció para la mayoría de años, un nivel de cumplimiento alto en todas las estaciones monitoreadas, a excepción de P. Nuquí, donde se observó un nivel de cumplimiento bajo en 2017 (288 UFC/100 mL) y 2018 (140 UFC/100 mL) (Figura 12-6).

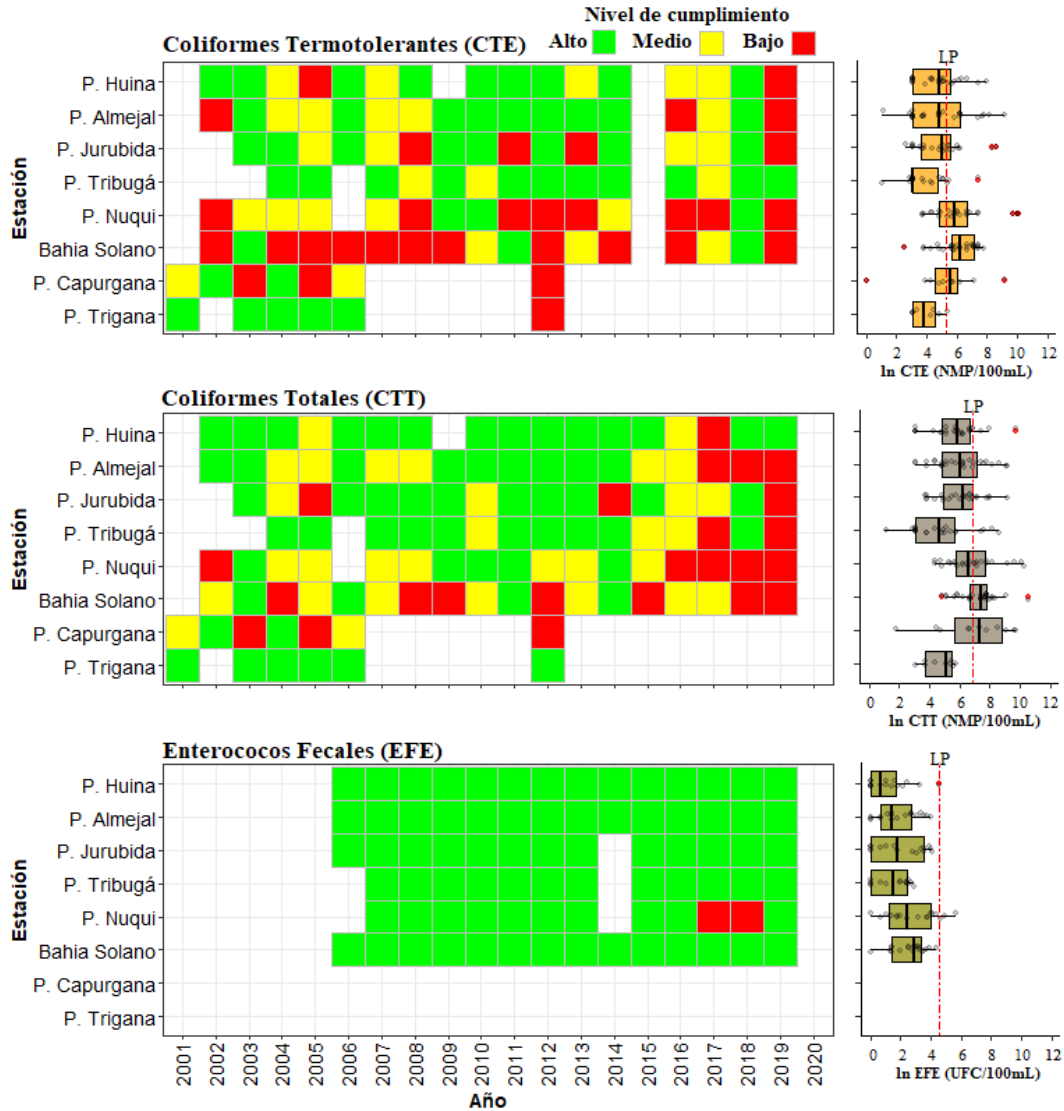


Figura 12-6. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento del Chocó. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 50 y $< 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Bajo, cuando menos del 50% ($< 50\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. LP: Limite Permissible.

12.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

La caracterización granulométrica para la muestra de sedimento recopilada en la estación Bahía Solano en el año 2019, mostró bajos contenidos de grava (2000 - 6400 μm) en un 1,6%, la fracción arena (63 - 2000 μm) correspondió al 40,6% y la fracción lodo (limo+arcilla, <63 μm) fue la más abundante 57,8%. El tamaño de partícula promedio correspondió a 29,88 μm , describiendo el tipo de sedimento como Limo Grueso (Figura 12-7).

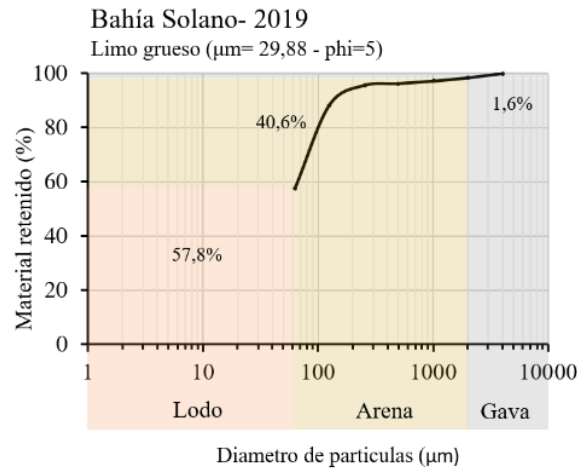


Figura 12-7. Curva granulométrica de las muestras de sedimentos recopiladas en el 2019, en la estación Bahía Solano del departamento de Chocó.

Las concentraciones de Materia Orgánica (MO) determinadas entre 2014 y 2018 variaron entre 1,59 y 25,1 mg/g. En Bahía Solano se registraron las mayores concentraciones de MO, en la época de altas precipitaciones. Durante el periodo de análisis se obtuvo un solo registro en la estación R. Nuquí, correspondiente a 14,4 mg/g para el año 2014 (Figura 12-8).

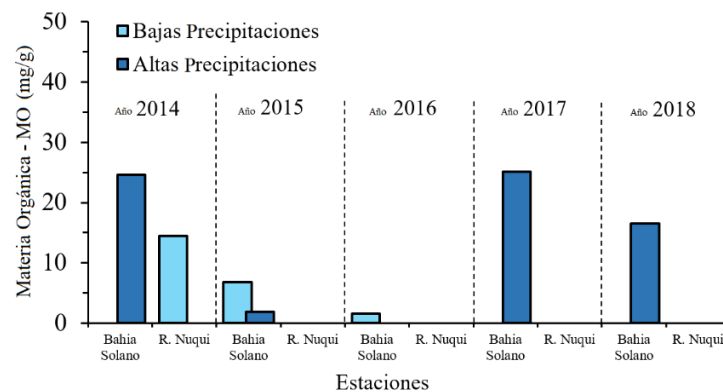


Figura 12-8. Materia Orgánica (MO) de las muestras de sedimentos recopiladas entre 2014 y 2018, en las estaciones Bahía Solano y R. Nuquí del departamento de Chocó. Las barras azul oscuro representan la época de altas precipitaciones y barras azul claro época de bajas precipitaciones.

Las concentraciones de metales en sedimentos marino/estuarinos recolectados en Bahía Solano, en el periodo 2014 y 2019, oscilaron entre 100,9 y 145 µg/g para Cobre (Cu), 220,8 y 370 µg/g para Cromo (Cr), 85,7 y 125 µg/g para Níquel (Ni), 78,6 y 146,1 µg/g para Cobre (Zn), 53,4 y 103 mg/g y para Hierro (Fe). Las concentraciones de plomo (Pb) y Cadmio (Cd) estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método usado por el LABCAM, entre 2014 y 2016 (LC= 4 µg/g Pb), 2017 y 2019 (LC= 15 µg/g Pb) y (LC=12,5 µg/g Cd). Las concentraciones de Mercurio (Hg) en sedimentos colectados entre 2016 y 2019 en la estación Bahía Solano, oscilaron entre 17,1 y 38 ng/g. En las estaciones P. Almeja y F. Bahía Solano las concentraciones de Hg en muestras de sedimento colectadas en el 2017 fueron 4,5 y 5,6 ng/g respectivamente.

En Bahía Solano, las concentraciones de Cu, Cr y Ni estuvieron por encima del valor de referencia para efecto probable (PEL: 108 µg/g Cu; 160 µg/g Cr y 42,8 µg/g Ni), propuestos por la NOAA (Buchman, 2008), y las concentraciones de Zn estuvieron por encima del límite de referencia para efectos umbral (TEL: 24 µg/g Zn) (Figura 12-9). En general, durante el periodo analizado, no se evidenciaron concentraciones de Cd, Pb y Hg por encima de los límites de referencia (TEL y PEL).

En sedimentos de agua dulce solo fueron monitoreados los metales en el año 2014 en R. Nuquí, con concentraciones de 56,6 µg/g para Cu; 155,6 µg/g para Cr; 65,2 para Ni y 79,9 µg/g para Zn. Metales como Cd y Pb estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método utilizado por el LABCAM. El registro de Cu estuvo por encima del límite de referencia para efectos umbral (TEL: 35,7 µg/g Cu) y, los de Cr y Ni sobre el valor de referencia PEL (90 µg/g Cr y 36 µg/g Ni). Las principales causas de contaminación por metales pesados en los sitios monitoreados se atribuyen a la minería y sus procesos extractivos, como se ha determinado en los estudios realizados por [Gutiérrez-Mosquera et al. \(2018\)](#), donde se registró el incremento de Cu, Cr y Zn en la región de Bahía Solano y Nuquí, debido a las actividades de extracción de oro (), las cuales se realizan de manera ilegal a través técnicas como la minería de aluvión ([UNODC & G.D.C, 2020](#)).

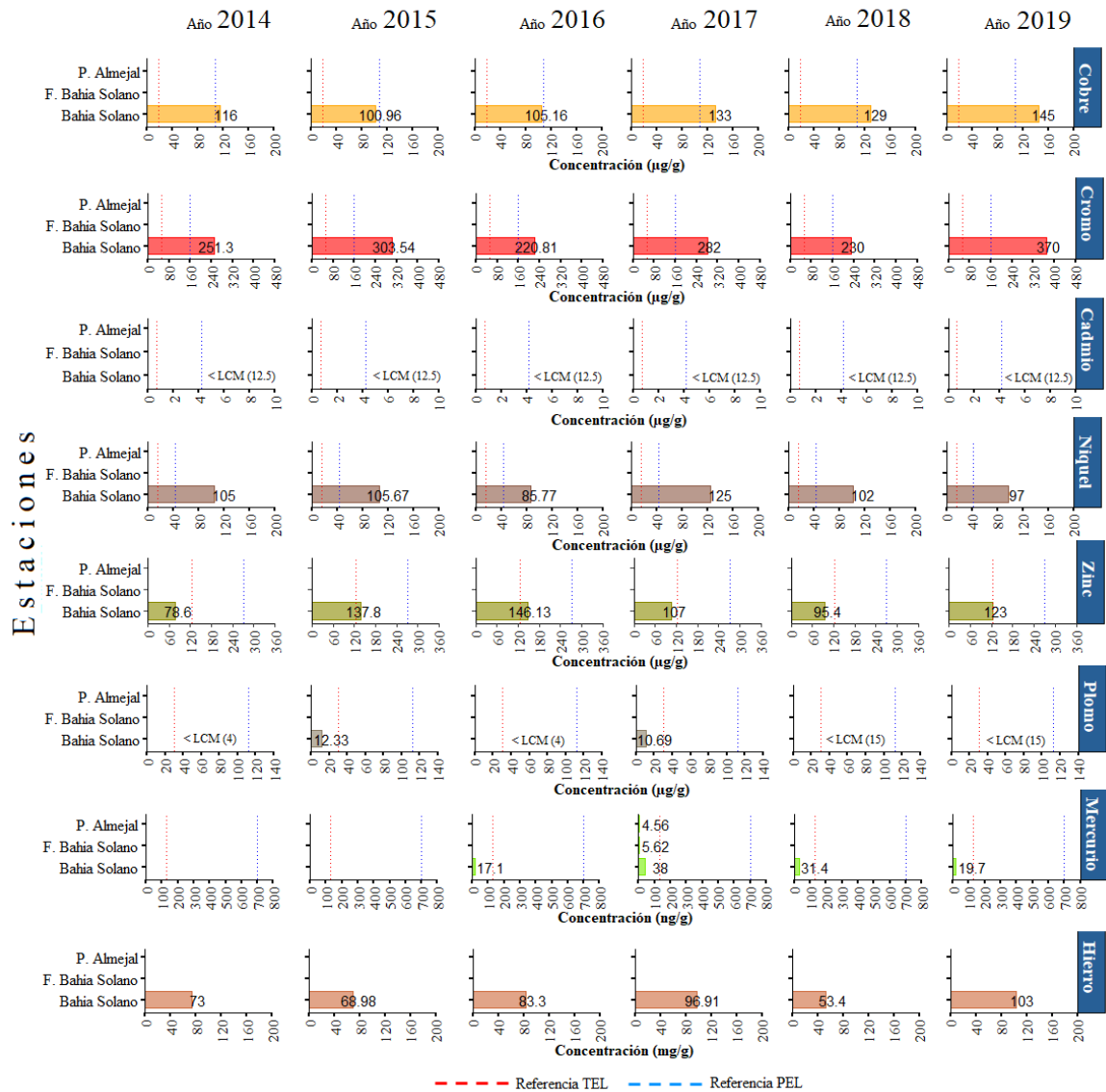


Figura 12-9. Concentración de metales totales en sedimentos marinos y estuarinos recopilados entre 2014 y 2019 en el departamento del Chocó. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino. 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.

Entre 2014 y 2019, se midieron 41 plaguicidas organoclorados, de los cuales se detectaron concentraciones de DDT + metabolitos (DDT + DDD + DDE) (4,2 ng/g) en R. Nuqui para el año 2014, Endrin Cetona (4,3 ng/g) y Metoxicloro (16,2 ng/g) en Bahía Solano en 2015 y Heptacloro (20,7 ng/g) en 2017, representando un 2,2% del total de las muestras analizadas durante el periodo de estudio (n=224). Un 53,6% de las muestras registraron valores por debajo del límite de cuantificación del método usado por LABCAM y un 44,2% valores no detectados (Figura 12-10). Algunos de estos plaguicidas detectados, como, por ejemplo, Heptacloro, DDT y Metoxicloro pueden estar asociados a las actividades productivas que se realizan en la región,

como la agricultura, actividad en la cual se utilizan estos productos para combatir plagas de insectos en diferentes tipos de cultivos ([Ordóñez et al., 2014](#); [Tesen, 2019](#); [ANLA, 2020](#)).

Del total de muestras plaguicidas organofosforados analizadas (n=71) entre 2014 y 2019, un 63,4% estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método utilizado por LABCAM y, un 35,2% fueron plaguicidas no detectados (Figura 12-10). Solo uno (1) de los trece (13) tipos de plaguicidas organofosforados fue detectado, la Cis-Permetrina (P30) en concentraciones de 22 ng/g en la estación Bahía Solano para el año 2015. Este tipo de contaminante está presente en la actividad ganadera, especialmente utilizado para el control de ectoparásitos ([Negrete et al., 2016](#)).

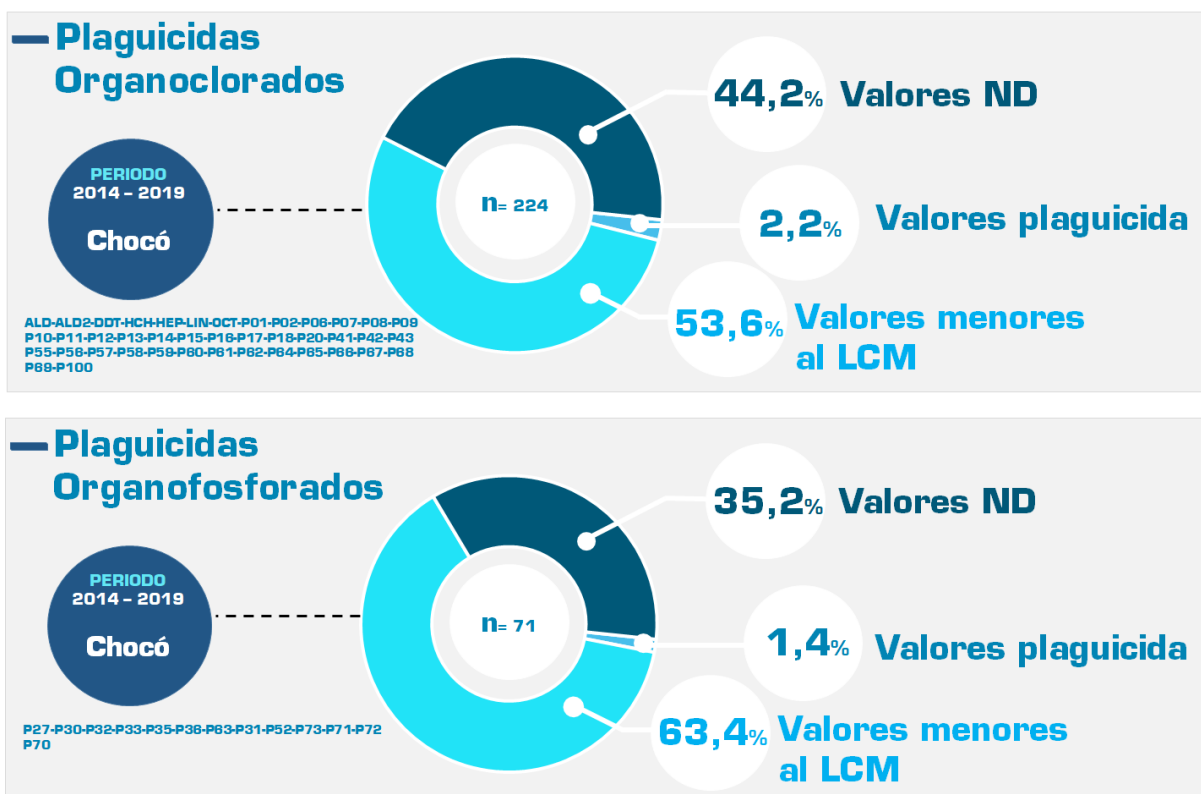


Figura 12-10. . Representación histórica de los resultados de plaguicidas organoclorados y organofosforados medidos en las muestras de sedimento del departamento de Chocó. ND: No Detectados.

12.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ En una escala temporal, en las estaciones vigentes del departamento del Chocó, no se ha registrado aguas marino costera de calidad pésima. Sin embargo, el deterioro de las aguas ha ido en aumento en los últimos años, evidenciándose más de un 70% de los sitios en condiciones inadecuadas y aceptables debido a las altas concentraciones de microorganismos Coliformes, producto de fuentes contaminantes como el vertimiento de aguas residuales provenientes de los municipios con déficit del sistema de alcantarillado. Este resultado muestra la necesidad de implementar acciones para disminuir las descargas de aguas residuales, las cuales contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas para la preservación de flora y fauna. Se debe establecer control sobre la comunidad que ejerce un impacto significativo sobre el recurso hídrico y trabajar en el mejoramiento del saneamiento básico, como la cobertura de alcantarillado en los municipios del departamento.
- ❖ La calidad microbiológica de Playa Nuquí y Bahía Solano no es adecuada para actividades turísticas o recreativas de contacto primario, ya que históricamente y en la actualidad las concentraciones de CTT y CTE han estado por encima de los límites establecidos por la legislación nacional. Además, se suman en los últimos años las estaciones P. Tribugá, P. Almeja y P. Huina con altos contenido de microorganismos de origen fecal, corroborando que en la mayoría de los sitios de la región existe contaminación microbiológica asociada al vertimiento de aguas residuales.
- ❖ La presencia de metales totales en el sedimento (Cu, Cr, Zn y Ni) en concentraciones que sobrepasan los valores de referencia internacional propuestos por la NOAA (TEL y PEL), hace necesario mantener una evaluación más rigurosa en la región, recopilando información de manera continua sobre un mayor número de estaciones. Así mismo realizar investigación que permita identificar cuáles son las áreas de explotación minera que influyen directamente en el incremento de estos metales, detectar otras fuentes antrópica o naturales, y establecer medidas de control para mitigar dichos impactos.
- ❖ La presencia de plaguicidas organoclorados como DDT, Endrin Cetona, Heptacloro en sedimentos del sector de Nuquí y Bahía Solano, indica que estas sustancias están siendo utilizadas a pesar de las restricciones y prohibiciones de su uso, venta y producción en el país (Resolución 447 de 1974; Resolución 209 de 1978; Decreto 704 de 1986;). Estos resultados muestran la necesidad de identificar y hacer seguimiento a la fuente de dichos plaguicidas, con propósitos de control del vertimiento.

13. DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA

El departamento del Valle del Cauca está 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 et al., 2007). 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 13-1) uno de los más importantes de la región del Pacífico Colombiano (INVEMAR, 2018).

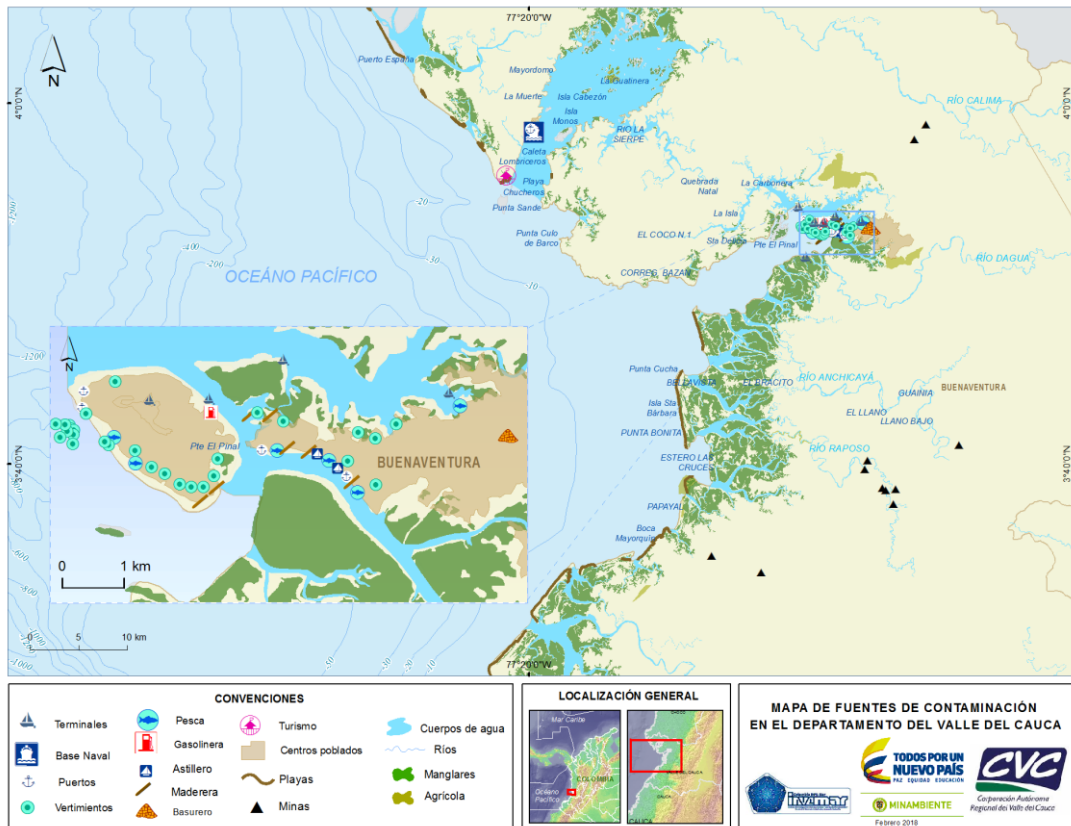


Figura 13-1. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Valle del Cauca, Pacífico colombiano.

En el departamento del Valle del Cauca la REDCAM tiene 56 estaciones de muestreo distribuidas en cuatro zonas (Figura 13-2) 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 constituye 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 Pianguita y la Bocana y al sur Isla Soldado, los esteros brazo largo y Machetagedó, donde desembocan los ríos Potodó y Anchicayá. Finalmente, en la zona **Costa Sur Buenaventura, donde se ubican estaciones sobre el río Raposo (Figura 13-2).**

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. El presente reporte contiene información del comportamiento de la calidad del agua del departamento desde 2001 hasta 2021.

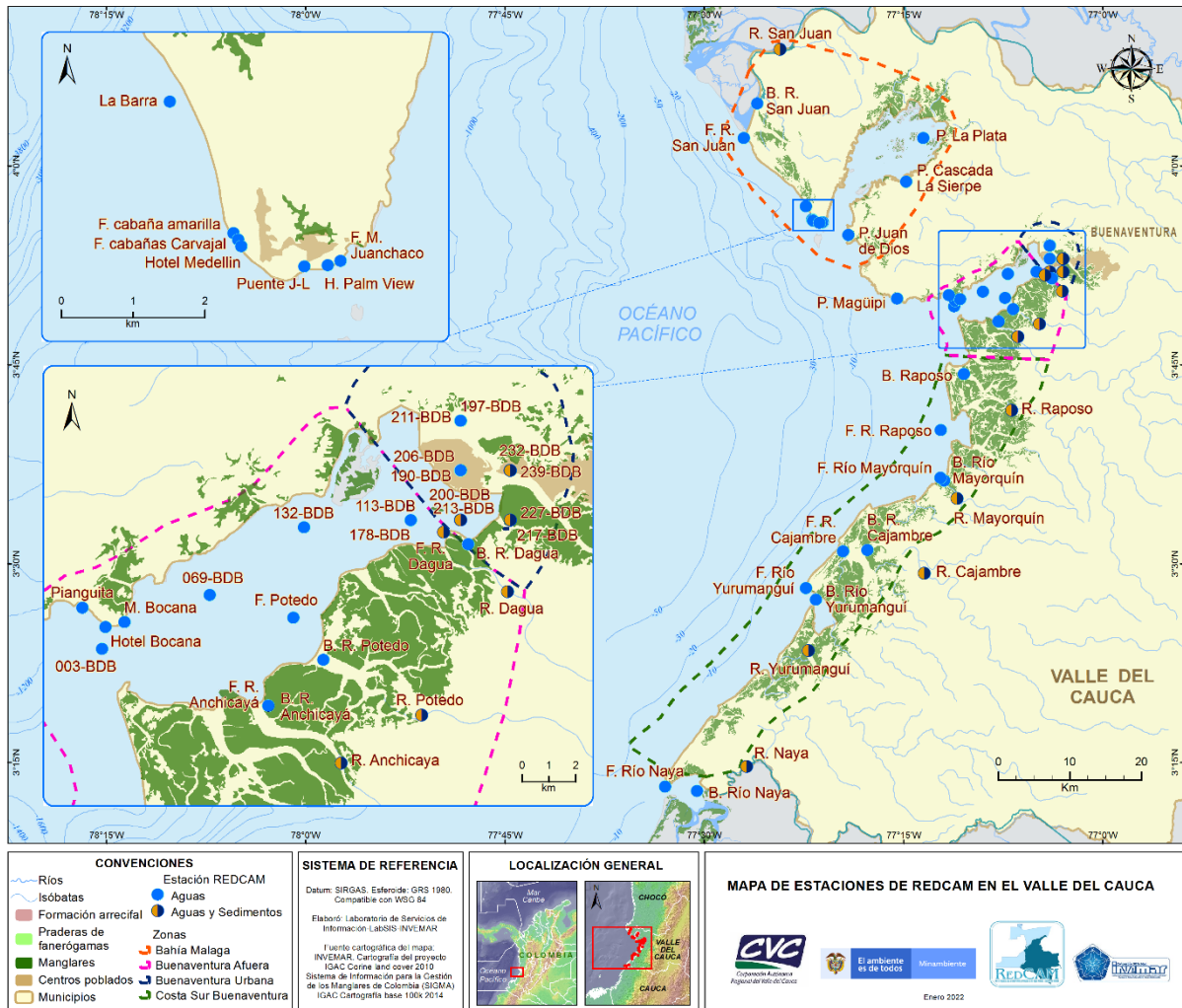


Figura 13-2. Mapa de estaciones de muestreo REDCAM en el departamento del Valle del Cauca. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y los puntos bicolors (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimentos superficiales. Los polígonos punteados presentan las zonas de muestreo.

13.1 CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS

13.1.1 Calidad de agua para la preservación de flora y fauna

Los datos de salinidad recopilados entre 2001 y 2019 para las estaciones REDCAM del departamento del Valle del Cauca, permitieron clasificar los tipos de agua en dulce, estuarinas y marinas (Figura 13-3). Con base en los registros de salinidad, de las 56 estaciones solo fueron consideradas 42 para el análisis. La mayoría de las estaciones se clasificaron en agua estuarina (59,5%; 25), el 28,5% en agua marina (12) y un 12% en agua dulce (5). El análisis de los datos mostró que en algunas estaciones había ausencia o insuficiencia de datos, las cuales fueron clasificadas con un tipo de agua a partir de criterios de expertos. Ente estas, las estaciones P. Cascada La Sierpe, P. La Plata y P. Magüipi se clasificaron como estaciones marinas; F.R San Juan, B.R Dagua, B.R Potedo, B.R Anchicayá, F.R Anchicayá, B.R. Cajambre, B. Río Mayorquín, B. Río Naya, B. Río Yurumanguí, F. R. Cajambre, F. Río Mayorquín, F. Río Naya y F. Río Yurumanguí como estaciones de tipo estuarinas; y R. Cajambre, R. Mayorquín, R. Naya, y R. Yurumanguí como tipo agua dulce. En el período de bajas precipitaciones, los valores de salinidad en general fueron altos, sin embargo, las constantes lluvias y aportes de los ríos hacen que la mayoría de las estaciones en la Zona de Buenaventura Urbana, Buenaventura Afuera y Costa Sur Buenaventura, tengan un comportamiento de tipo estuarino, formando uno de los principales cuerpos de agua del Pacífico colombiano que brinda una gran cantidad servicios ambientales (Zambrana, 2000).

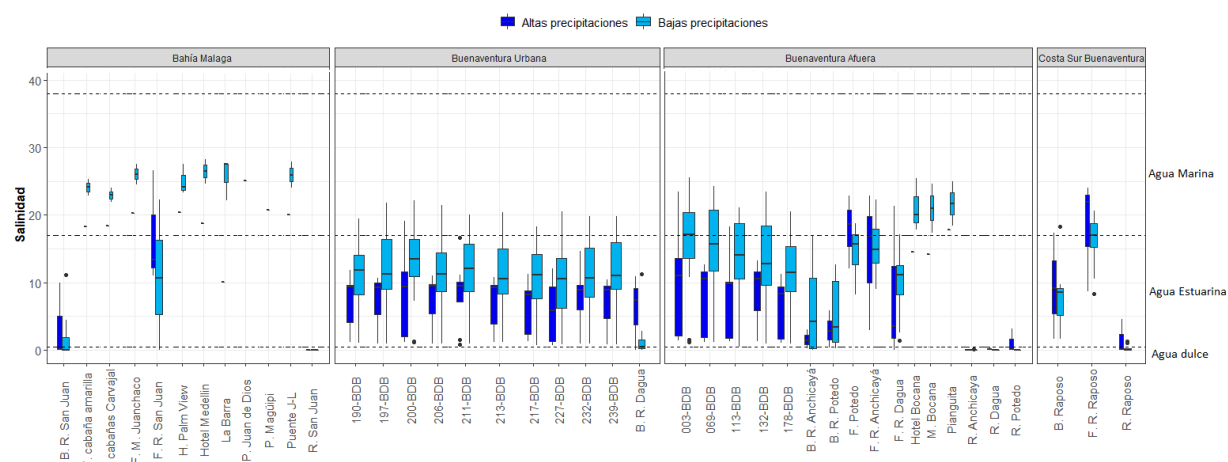


Figura 13-3. Gráfico de caja de la variación histórica (2001-2019) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Valle del Cauca, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. El ancho de la caja es proporcional al número de datos. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por Knox (2001).

En la Figura 13-4 se resumen los registros históricos recopilados entre 2001 a 2021 de pH, Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), y en la Figura 13-5 los nutrientes nitratos (N-NO₃) y ortofosfatos (P-PO₄).

El test Kruskal Wallis indicó que las concentraciones de pH son diferentes entre los tipos de aguas, dulce, estuarina y marina (p-Valor < 0,05). El pH en las estaciones de agua dulce ha variado entre 5,09 y 9,58. De los nueve sitios monitoreados se destaca R. Potedo por presentar

históricamente los menores valores de pH, siendo un cuerpo de agua ligeramente ácido debido a altas tasas de respiración de microorganismos ([Obando y Espinosa, 2020](#)), lo cual se ve reflejado en los registros de OD, donde se observan concentraciones mínimas de hasta 4,18 mg/L y una mediana de 5,51 mg/L, siendo la más baja en comparación con las demás estaciones (Figura 13-4). En las estaciones R. Anchicaya, R. Dagua, R. Raposo y R. San Juan, los registros de pH han sido ligeramente alcalinos ($\text{pH} > 8,5$), sin embargo, los valores históricos evidencian que, la mayoría de las estaciones monitoreadas tienen un comportamiento con niveles de pH dentro de los rangos establecidos por la normatividad colombiana para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,0; [MinAmbiente, 2015](#)). Las estaciones estuarinas, particularmente aquellas situadas en la zona de Buenaventura Urbana, mostraron una tendencia de disminución del pH y OD hacia la bahía interna, en sitios cercanos al municipio de Buenaventura y los esteros aledaños (Figura 13-4). Los valores de pH fluctuaron entre 5,35 y 9,58, con una mediana cerca a 7,5.

El OD, estuvo en un rango entre 3,89 y 6,88 mg/L, con las menores concentraciones en las estaciones de la zona portuaria e industrial y el estero Aguacate, zona caracterizada por sus bajas profundidades, corrientes de baja velocidad y elevados niveles de turbiedad ([Barbosa, 2018](#)). Estos patrones de disminución del pH y OD están relacionados con las descargas de desechos antrópicos o sustancias contaminantes, provenientes de las comunas vecinas ([Vivas et al., 2014](#)).

En las estaciones estuarinas ubicadas en la desembocadura y fuera de los ríos Anchicayá, Cajambre, Dagua, Potedo, Naya, Mayorquin, Raposo, San Juan y, las estaciones marinas vigentes el pH estuvo dentro del rango (6,5 – 8,5 pH) establecido por [MinAmbiente, \(2015\)](#) y concentraciones de OD por encima del valor mínimo permisible establecido en la normatividad colombiana (> 4 mg/L; Decreto 1594 de 1984) para preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas (Figura 13-4).

Las concentraciones de SST presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los registros de agua estuarina con respecto a las concentraciones de agua dulce y marina (p -Valor $< 0,05$). Las concentraciones históricas de SST más altas se han registrado en las estaciones R. Cajambre, R. Naya y R. San Juan (Figura 13-4). El río San Juan es el principal aportante de sólidos suspendidos totales hacia las estaciones marinas ubicadas a la altura de Ladrilleros y Juanchaco, como fue evidenciado por [Portela et al. \(2011\)](#). Las concentraciones de SST disminuyen a medida que las estaciones se encuentran espacialmente separadas de la corriente del río San Juan (Figura 13-4), sin embargo, la estación Puente J-L presentó valores de SST altos (entre 37,4 y 83 mg/L) en comparación a las demás estaciones marinas de Bahía Málaga.

En la Bahía de Buenaventura, los valores de SST más altos se registraron en las estaciones adyacentes a la entrada de la bahía interior, B. R. Anchicayá (8,6 a 148 mg/L), F. R. Anchicayá (8 a 147 mg/L), B. R. Potedo (7 a 115 mg/L), F. Potedo (12 a 95 mg/L), F. R. Dagua (9,6 a 126 mg/L), M. Bocana (19 a 86 mg/L) y Hotel Bocana (6 a 89,1 mg/L), similar a lo reportado por [Barbosa, \(2018\)](#) para los mismos sectores. En general, la Bahía de Buenaventura se comporta como un estuario muy dinámico, en el cual influyen las corrientes y el oleaje, generando variaciones en las concentraciones de SST ([Universidad del Valle, 1999](#)). Pese a lo anterior, las concentraciones de SST no sobrepasaron el límite permisible para agua contaminada ($\text{Log SST} > 2,1$ mg/L o $\text{SST} > 150 \leq 400$ mg/L; [CONAGUA, 2015](#)), a diferencia de las estaciones de agua dulce, especialmente R. Raposo, R. Naya, R. Cajambre, R. Dagua y R. Anchicayá, donde los

registros históricos están cerca del nivel de contaminación (Log SST > 1,8 mg/L o SST >75≤150 mg/L; [CONAGUA, 2015](#)).

Los registros históricos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), oscilaron entre 0,2 y 3,5 mg/L para las estaciones de agua dulce, 0,4 y 5,5 mg/L en agua estuarina, y 0,7 a 3,5 mg/L en agua marina, reflejando buena calidad del agua. En Bahía Malaga, los registros oscilaron entre 0,3 y 4,1 mg/L, en Buenaventura Afuera entre 0,2 y 3,5 mg/L, en Buenaventura Urbana entre 0,5 y 5,5 mg/L y en Costa Sur Buenaventura entre 0,5 a 3,6. Las concentraciones de DBO no mostraron diferencias significativas por zonas (P-Valor > 0,05), , y, .

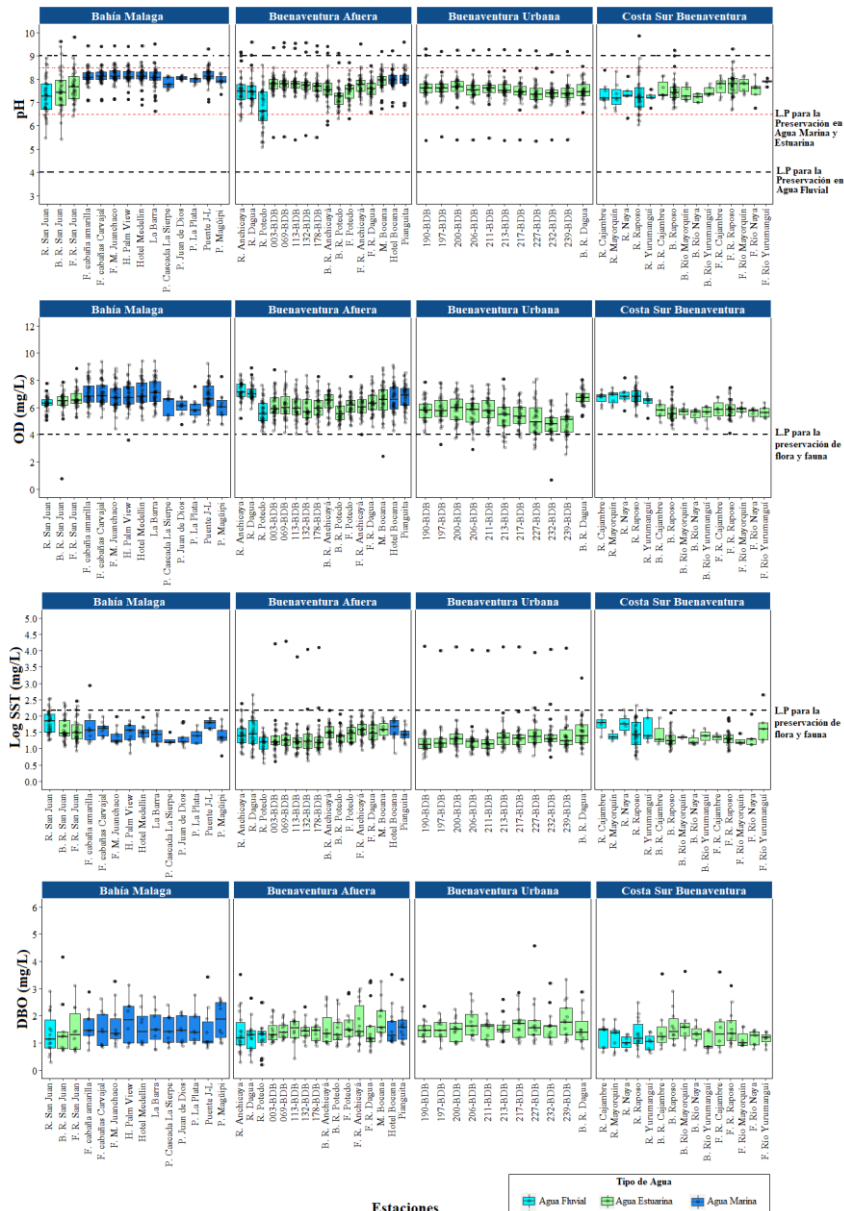


Figura 13-4. Registros históricos (2001-2021) de pH, Oxígeno Disuelto (OD), sólidos Suspendedos Totales (SST) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) medidos en las estaciones vigentes, diferenciado por zona y tipo de agua del departamento de Valle del Cauca. En donde se indican los límites permisibles para OD y pH estipulados por MinAmbiente (2015) y, DBO y SST por CONAGUA (2015). Limite Permissible (L.P).

Las concentraciones de N-NO₃ resultaron estadísticamente significativas entre los tipos de aguas (p-Valor < 0,05). Se logró evidenciar los mayores valores en las estaciones de agua marina, por otra parte, las estaciones de agua dulce mostraron los registros más bajos con respecto a las demás estaciones (Figura 13-5). A nivel espacial se encontraron diferencias significativas entre zonas (P-Valor < 0,05). Las concentraciones de N-NO₃ fueron más altas en Bahía Málaga, seguido de Buenaventura Afuera, Buenaventura Urbana y Costa Sur Buenaventura. En cuanto a las concentraciones de ortofosfatos, no se encontró una tendencia clara debido a la ausencia de datos en diferentes estaciones y años (Figura 13-5).

Cabe mencionar que la mayor parte de contaminantes inducidos a la zona marino costera generalmente provienen de fuentes terrestres, producto de actividades antropogénicas como el vertimiento de aguas residuales, residuos sólidos, minería y otras actividades productivas y socioeconómicas, sin embargo, en las zonas analizadas, los altos registros de N-NO₃ pueden también estar asociados al arrastre de nutrientes debido a la influencia de las lluvias que ocasionan el lavado y remoción de los suelos por la descarga de las quebradas ([Portela et al., 2011](#)), teniendo en cuenta que los nitratos tienden a viajar en sedimentos permeables o rocas fracturadas ([Ávila y Sansores, 2003](#)). Estas condiciones inadecuadas son parcialmente reguladas por los bosques de manglares que poseen estas zonas, los cuales en un ciclo continuo consumen de estos nutrientes, pero a su vez, exportan materia orgánica que inciden en otros procesos, como, la disminución de oxígeno disuelto por el alto consumo durante la oxidación de estos materiales.

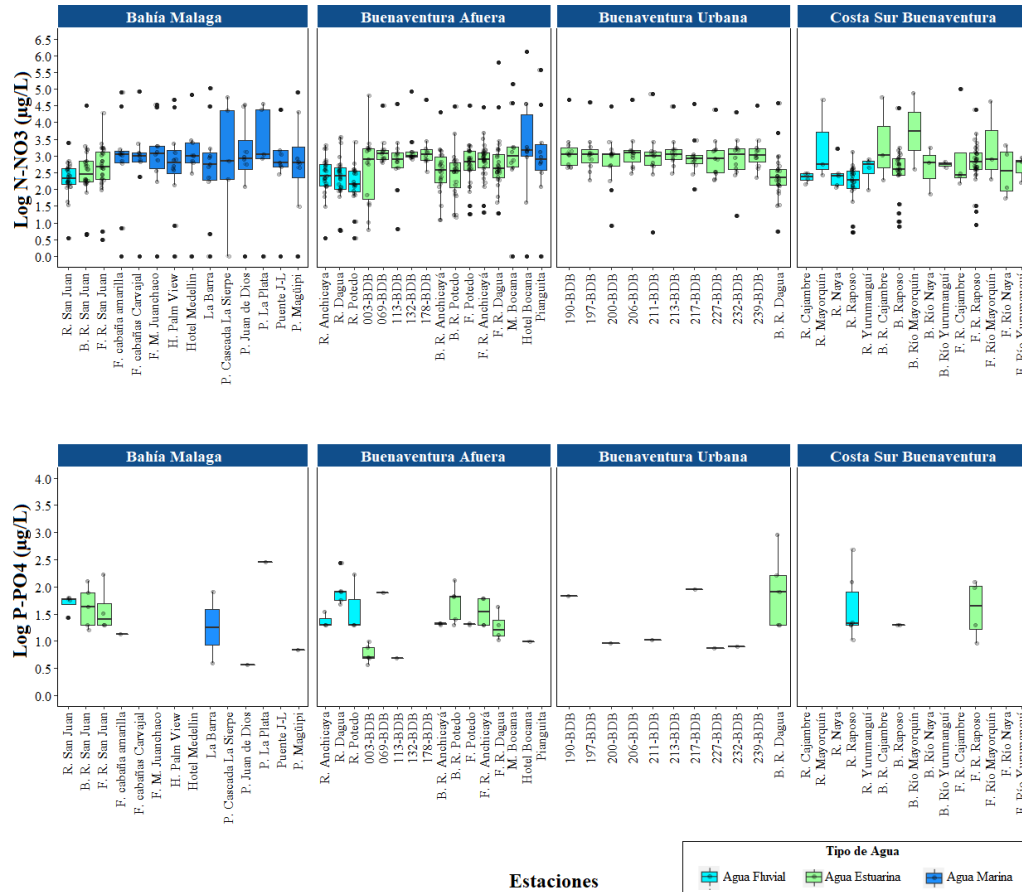


Figura 13-5. Registros históricos (2001-2021) de Nitratos (N-NO₃) y Ortofosfatos (P-PO₄) medidos en las estaciones vigentes, diferenciado por zona y tipo de agua.

13.1.2 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). Se encontró que la mayoría de estaciones muestreadas entre 2001 y 2004 presentaron un nivel medio de cumplimiento en las concentraciones de CTE y CTT, reflejando que el 50% o menos del 100% de las muestras registradas anualmente por estación cumplieron con el criterio de calidad establecido por [MinAmbiente, \(2015\)](#) (CTE<200 NMP/100mL) y (CTT<1000 NMP/100mL); sin embargo, un periodo crítico fue observado desde 2008 hasta 2015, donde la mayoría de observaciones mostraron niveles de cumplimiento bajo (Figura 13-6), con concentraciones hasta 66.000 NMP/100 mL CTE y 110.000 NMP/100 mL CTT, condiciones que se relacionan con los efectos de la ola invernal asociada al fenómeno climático La Niña, durante el cual se presentaron fuertes precipitaciones entre los años 2007 a 2008 y de 2010 a 2011([IDEAM, 2017](#)), aumentando el aporte de contaminantes por fuentes directas y dispersas, como, por ejemplo, escorrentía que terminan en las desembocaduras cercanas a las estaciones monitoreadas.

Para el periodo comprendido entre 2016 y 2020, las concentraciones de CTE y CTT disminuyeron, evidenciándose niveles altos en el cumplimiento de las concentraciones de Coliformes en la mayoría de las estaciones analizadas. No obstante, las estaciones Pianguita y P. Cascada La Sierpe mostraron para 2019 y 2020 registros de niveles de cumplimiento bajos, con concentraciones que van hasta los 930 NMP/100 mL CTE y 4.600 NMP/100 mL CTT.

En relación con los Enterococos Fecales (EFE) no existe un monitoreo constate para esta variable en el departamento, por lo cual no se logra evidenciar cambios del nivel de cumplimiento entre los diferentes años. De manera general se evidencia que para el año 2009 los niveles de cumplimiento en la mayoría de estaciones fueron altos, y al igual que en 2019 para las estaciones H. palm View, P. Juan de Dios y Hotel Bocana (Figura 13-6).

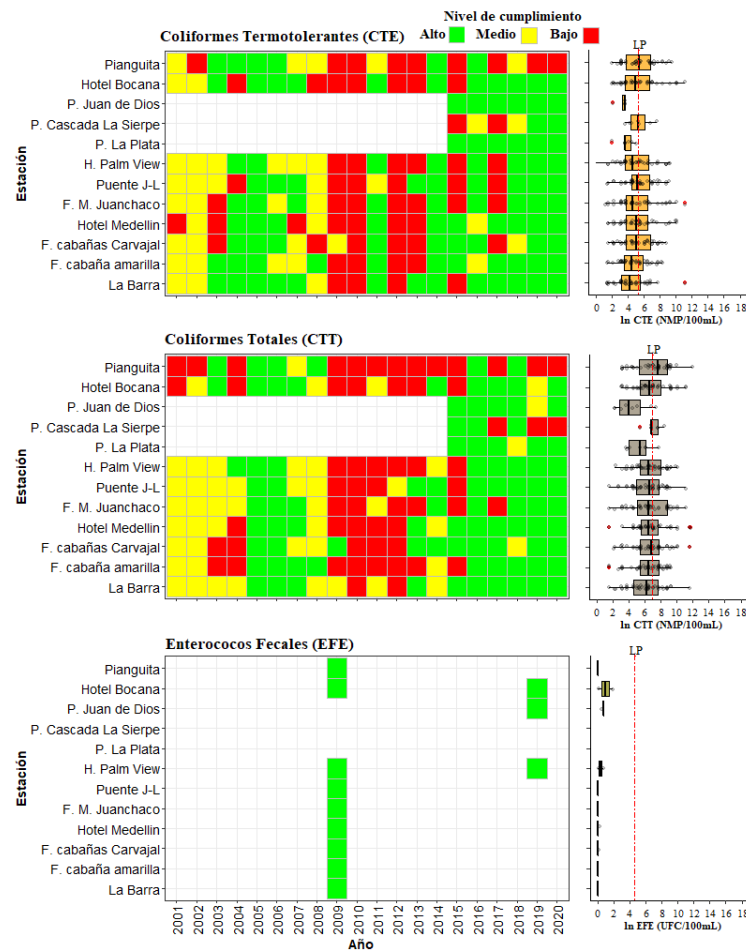


Figura 13-6. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento del Valle del Cauca. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, 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: Limite Permissible.

13.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

El análisis de concentración de metales en sedimentos marinos/estuarinos se realizó para el periodo comprendido entre 2016 hasta 2020. Las concentraciones de metales pesados en el total de estaciones analizadas oscilaron entre 40,2 y 233 $\mu\text{g/g}$ para cobre (Cu), 52,3 y 258 $\mu\text{g/g}$ para Cromo (Cr), 31,7 y 82,6 $\mu\text{g/g}$ para Niquel (Ni), 66,4 y 317 $\mu\text{g/g}$ para Zinc (Zn) y de 37,4 a 864 ng/g para Mercurio (Hg). Las concentraciones de Plomo (Pb) solo fueron registradas en 2018 con valores que fluctuaron entre 30 y 55,6 $\mu\text{g/g}$, observando para los demás años concentraciones por debajo del límite de cuantificación del método usado por el LABCAM, 2016 y 2017 (LC=11,1 $\mu\text{g/g}$) y 2020 (LC=10,8 $\mu\text{g/g}$). Por su parte, el Cadmio (Cd) mostró valores por debajo del Límite de Cuantificación, entre 2016 y 2017 (LC= 2 $\mu\text{g/g}$) y 2020 (LC= 5,3 $\mu\text{g/g}$) (Figura 13-7).

En las estaciones de agua dulce entre 2016 – 2017 y 2020, las concentraciones de metales variaron entre 42,3 y 118 $\mu\text{g/g}$ para Cu, 70,3 y 226 $\mu\text{g/g}$ para Cr, 30,3 y 87,2 para Ni, 78,5 y 216 para Zn, 1,1 y 453 para Hg. Metales como Pb se observaron en un rango de 17,4 y 88,2 solo en 2020, sin embargo, años anteriores las concentraciones estuvieron por debajo del límite de cuantificación (LC= 11,1 en 2016 y 2017; LC=25,2 en 2018). El Cd estuvo por debajo del Límite de Cuantificación en el periodo analizado (LC= 2 $\mu\text{g/g}$ para 2016 y 2017; LC= 5,3 $\mu\text{g/g}$ para 2020) (Figura 13-8).

Las concentraciones de Cu y Cr más altas, las cuales sobrepasaron el límite de referencia para efecto probable PEL (108 $\mu\text{g/g}$ Cu y 160 $\mu\text{g/g}$ Cr) propuestos por Buchman (2008), se registraron en las muestras de sedimentos marino/estuarinos presentes en las estaciones 239-BDB, 227-BDB, 217-BDB, 191-BDB y B.R Anchicayá. Adicionalmente, en 2018 los valores de Cr estuvieron por encima del límite PEL en la mayoría de las estaciones, incluyendo 200-BDB, 232-BDB y 213-BDB. Así mismo, en sedimentos de agua dulce fueron observados altos rangos de concentración de Cu y Cr, los cuales sobrepasaron el límite de referencia (TEL: 35,7 $\mu\text{g/g}$) y (PEL: 90 $\mu\text{g/g}$) respectivamente, específicamente en las estaciones R. Anchicaya, R. Cajambre, R. Dagua, R. Mayorquín, R. Naya, R. Potedo, R. Raposo, R. San Juan y R. Yurumanguí (Figura 13-8).

Las concentraciones de Ni en un gran número de sitios monitoreados fue alta, tanto para sedimentos marinos/estuarinos como de agua dulce, sobrepasando los límites de referencia PEL 42,8 $\mu\text{g/g}$. Es importante mencionar que las altas concentraciones de este metal en sedimentos se relacionan con aportes de residuos antropogénicos provenientes de fertilizantes y lodos residuales que se acumulan en las bahías (Vargas *et al.*, 2004). Además, por las emisiones atmosféricas de diferentes fuentes que incluyen Ni, lo que conlleva a que sean absorbidos en los sedimentos o partículas del suelo (Fermín, 2002).

Con respecto al Zn, la mayoría de las estaciones con sedimentos marinos/estuarinos sobrepasaron el límite de referencia TEL: 124 $\mu\text{g/g}$, y en 2018 en la estación 217-BDB y en 2020 en la estación 191-BDB las concentraciones de Zn estuvieron por encima del límite PEL (PEL: 271 $\mu\text{g/g}$) (Figura 13-7). En cambio, en sedimentos de agua dulce las concentraciones de Zn se mantuvieron por debajo del límite (TEL: 123 $\mu\text{g/g}$) a excepción de R. San Juan y R. Anchicaya las cuales sobrepasaron el límite TEL en 2018 y R. Reposo en 2020 (Figura 13-8). Por otro lado, el Pb tuvo registros en 2018 que sobrepasaron el límite de referencia TEL: 30,2 $\mu\text{g/g}$ en sedimentos marinos/estuarinos y en 2020 en sedimentos de agua dulce (TEL: 35 $\mu\text{g/g}$).

El análisis histórico de Hg mostró que entre 2016 y 2018, las concentraciones sobrepasaron los límites de referencia (TEL:130 µg/g marino/estuarino; TEL:174 µg/g agua dulce), sin embargo, en el transcurso del tiempo la concentración de este metal ha disminuido en la mayoría de estaciones, tanto de agua marinas/estuarinas como de agua dulce, alcanzando concentraciones por debajo del límite de referencia TEL, incluso menores al Límite de Cuantificación del método aplicado por el LABCAM. Cabe señalar que este metal es aportado por procesos mineros, principalmente por la extracción de oro realizada por mineras artesanales y de pequeña escala situadas en la región (MINMINAS, 2014), por lo cual, la disminución de las concentraciones de Hg reflejadas en los últimos años pueden ser el resultado de mejoras en las practicas mineras artesanales con el fin de reducir los impactos al medio ambiente (MINMINAS, 2016).

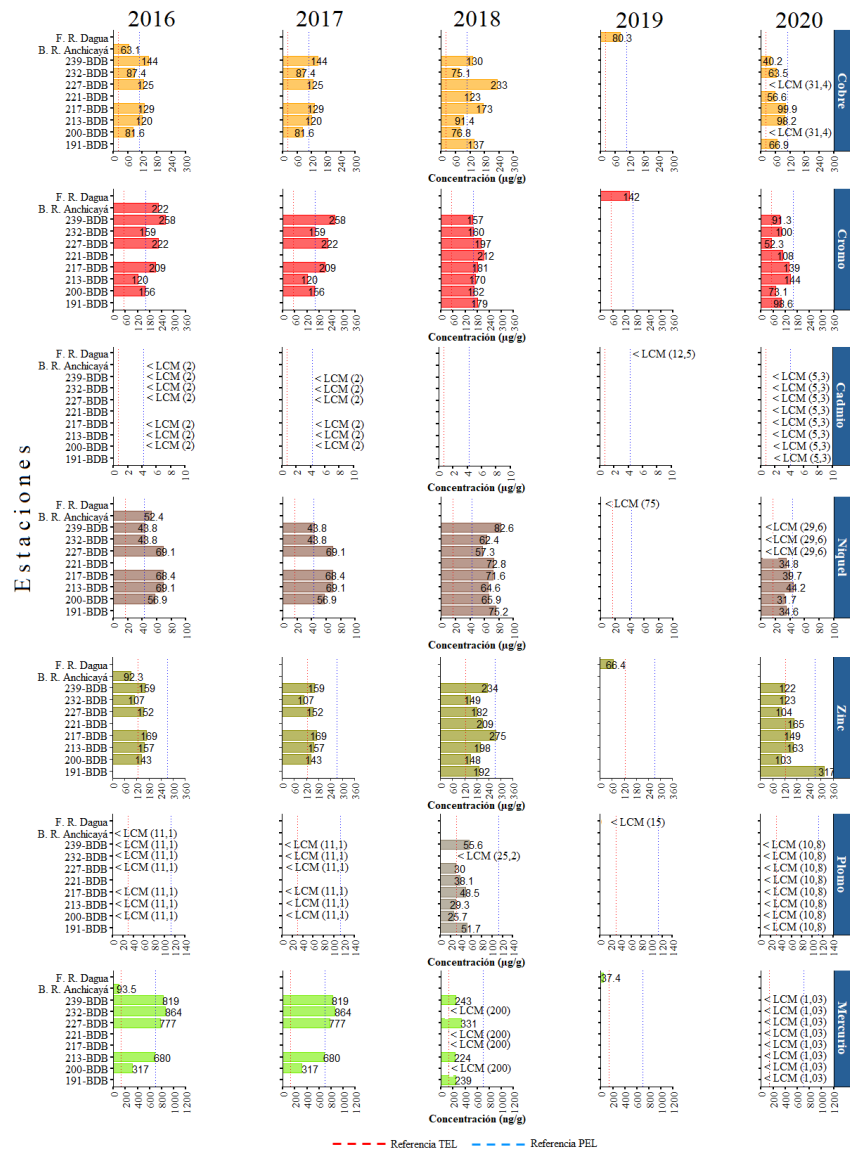


Figura 13-7. Concentración de metales totales en sedimentos marinos/estuarinos recopilados entre 2016 y 2020 en el departamento de Cauca. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino. 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.

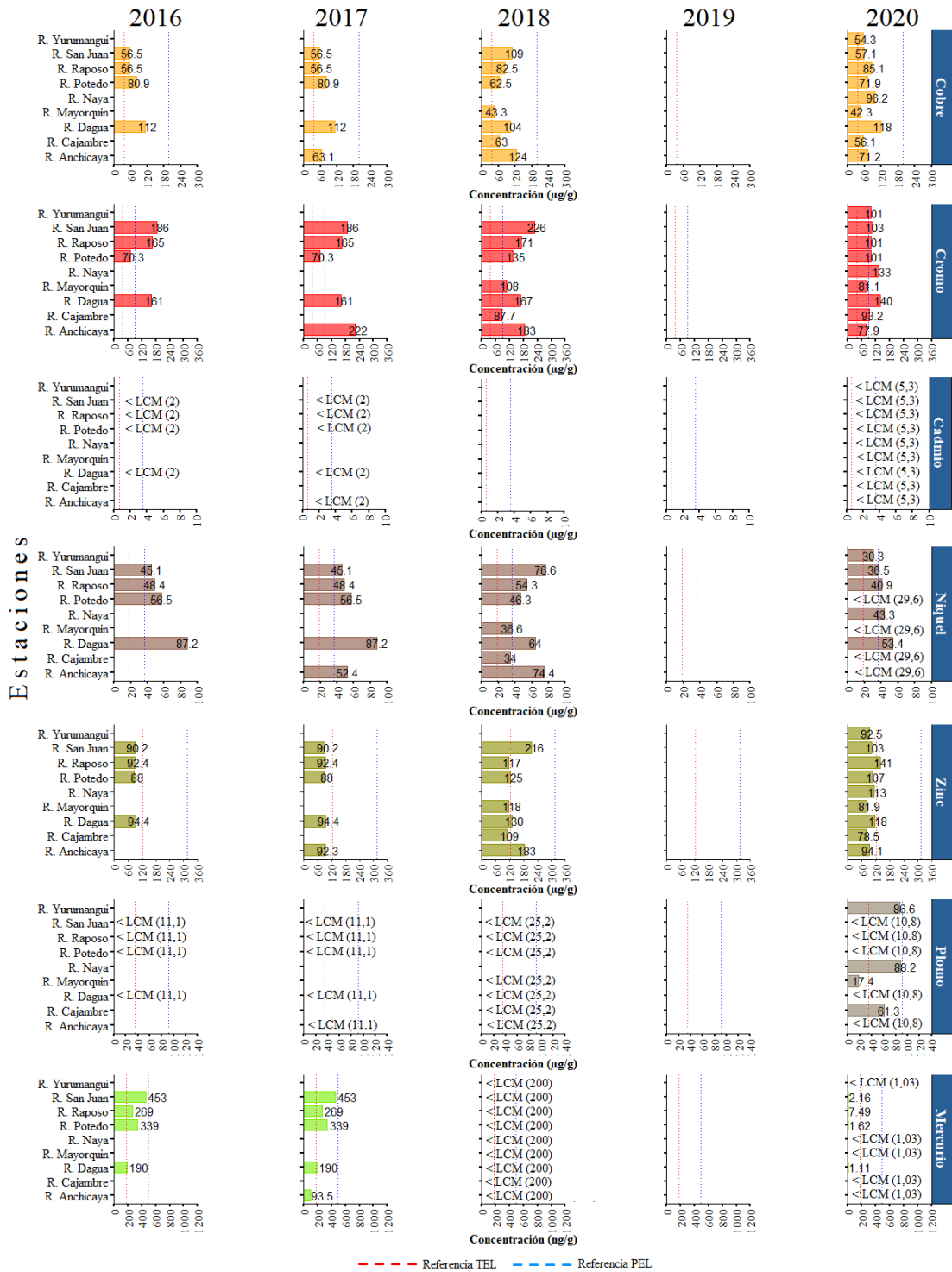


Figura 13-8. Concentración de metales totales en sedimentos en agua dulce recopilados entre 2016 y 2020 en el departamento del Valle del Cauca. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron del Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) para sedimentos marino/estuarino. Las líneas verticales rojas representan los valores de referencia TEL y las de color azul los PEL. Las siglas (LCM) corresponden al límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM.

En la Figura 13-9, se observa de manera general que en el 100% de las muestras de sedimento colectadas por INVEMAR durante el año 2019 en el departamento de Valle del Cauca, los 33 plaguicidas Organoclorados y 11 Organofosforados analizados fueron no detectados.



Figura 13-9. Representación histórica de los resultados de plaguicidas organoclorados y organofosforados medidos en las muestras de sedimento del departamento del Valle del Cauca. ND: No Detectados.

13.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ Las concentraciones históricas de pH y oxígeno disuelto observadas en las zonas Bahía Málaga, Buenaventura Afuera, Buenaventura Urbana y Costa Sur Buenaventura no presentan riesgos alarmantes para la vida marina y se han mantenido estables, encontrándose dentro de los rangos establecidos por la legislación colombiana para la preservación de flora y fauna en agua dulce, marina y estuarina. Sin embargo, se debe hacer seguimiento al comportamiento de las estaciones aledañas al casco urbano de Buenaventura, ya que han presentado por lo menos una vez en el periodo analizado registros de oxígeno disuelto inferiores al criterio de calidad estipulado por la legislación colombiana. Ahora bien, las aguas marinas y costeras del departamento del Valle del Cauca tienen una alta carga de nutrientes (nitratos), situación que de no ser controlada puede generar consecuencias sobre la conservación y biodiversidad de la zona, ya que aumenta la probabilidad de tener características de eutrofización costera. Por lo demás, se recomienda fortalecer el monitoreo de las estaciones vigentes con respecto a la variable ortofosfatos (PO_4), el cual es considerado como un parámetro fundamental en la calidad de aguas debido a la influencia que tiene en el proceso de eutrofización.
- ❖ En las estaciones de uso turístico, las condiciones de incumplimiento de los límites permisibles de la legislación colombiana para CTE y CTT se dieron durante el periodo de eventos climáticos La Niña. Sin embargo, en la actualidad los niveles de cumplimiento de la calidad microbiológica en Pianguita y P. Cascada La Sierpe han sido bajos. 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.
- ❖ Los registros de metales en sedimentos, tanto en agua dulce como marino y estuarino, permitieron evidenciar en la mayoría de los años concentraciones de Cu, Cr, Ni, Zn y Hg por encima de los límites de referencia para efecto umbral (TEL) y efecto probable (PEL) establecidos por la NOAA, lo que da certeza que existe contaminación por metales pesados en la zona de monitoreo. Este resultado sugiere que se debe realizar investigación que permita identificar las fuentes de contaminantes que influyen directamente en el aumento de estos metales en los sedimentos y establecer medidas de control para mitigar sus impactos.

14. 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 Saija, donde la población a 2021 fue de ~74.000 habitantes ([DANE, 2021](#)). En el departamento hay precipitaciones constantes durante todo el año, promedio multianuales entre 5.000 y >11.000 mm, y en la zona marino costeras predominan estuarios, manglares, litorales rocosos y las islas Gorgona y Gorgonilla donde hay playas y parches de corales ([IDEAM et al., 2007](#); [Gómez-Cubillos et al., 2015](#)).

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 14-1; [INVEMAR, 2018](#)).

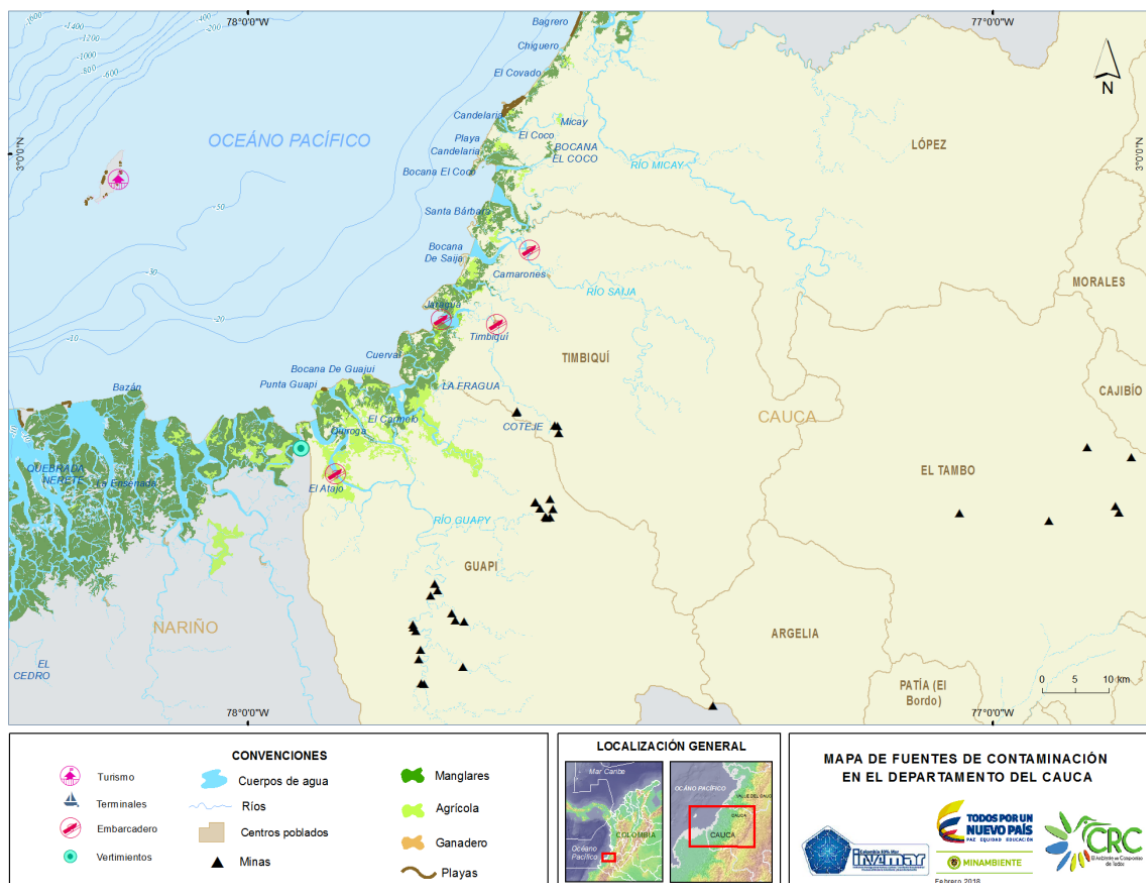


Figura 14-1. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento del Cauca, Pacífico colombiano.

En el departamento del Cauca, la REDCAM actualmente tiene 18 estaciones de muestreo distribuidas en tres zonas (Figura 14-2), 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 piangüas) 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.

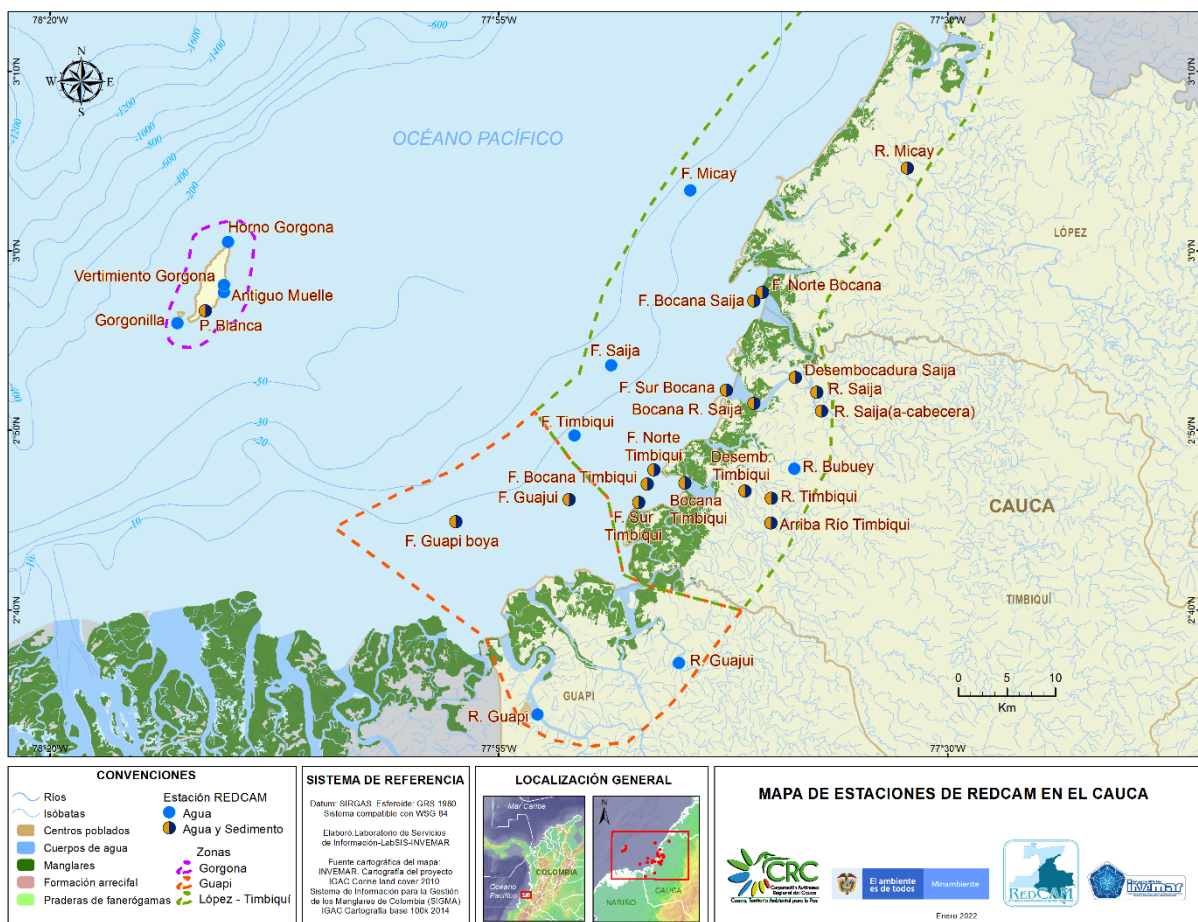


Figura 14-2. Mapa con las estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento de Cauca. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y los puntos bicolor (naranja y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimento. Los polígonos punteados enmarcan las zonas de muestreo.

14.1 CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS

14.1.1 Calidad de agua para la preservación de flora y fauna

Los resultados de los parámetros de calidad del agua medidos en las estaciones REDCAM Cauca en agosto de 2021 se presentan en la Tabla 14-1. Solo a las estaciones en aguas marinas y estuarinas se les aplicó el Índice de Calidad de Aguas para Preservación de flora y fauna - ICAM_{PFF}.

Tabla 14-1. Resultados del monitoreo REDCAM realizado en agosto de 2021, en estaciones REDCAM de Cauca. Solo las estaciones en negritas fueron usadas para el cálculo del ICAM_{PFF}. Oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), nitratos (NO₃⁻), ortofosfatos (P-PO₄⁻³), Coliformes Termotolerantes (CTE), Hidrocarburos del petróleo disuelto y disperso equivalente de criseno (HPDD).

Zona	Estación	Sal	OD (mg/L)	pH	SST (mg/L)	NO ₃ ⁻ (µg/L)	P-PO ₄ ⁻³ (µg/L)	CTE (NMP/100 mL)	Clorofila a (µg/L)	HPDD (µg/L)
López - Timbiquí	Bocana R. Saija	2,2	6,7	7,4	93,8	30,6	<2	1300,0	9,8	NM
	F. Micay	26,5	6,8	8,1	26,5	4,7	3,3	20,0	0,6	0,3
	F. Saija	6,2	7,2	7,7	51,2	11,7	2,3	450,0	6,7	1,5
	R. Bubuey	0,0	7,2	7,5	24,2	81,9	<2	4900,0	<0,07	NM
	R. Micay	0,0	7,9	8,3	115,0	57,0	2,4	11000,0	<0,07	NM
	R. Saija	0,0	7,8	7,9	26,1	58,0	<2	7900,0	<0,07	NM
	R. Timbiquí	0,0	7,9	8,3	22,9	38,2	2,4	2300,0	0,7	0,4
Guapi	Bocana Timbiquí	16,6	6,6	7,8	13,2	7,3	2,9	680,0	5,3	NM
	F. Guajuí	14,2	6,5	7,8	11,2	15,8	2,7	78,0	1,2	NM
	F. Guapi boya	24,7	7,1	8,1	13,8	<2	2,6	2,0	1,7	1,2
	F. Timbiquí	20,5	6,8	8,0	16,4	4,8	2,2	130,0	2,0	1,9
	R. Guajui	0,2	7,1	7,7	31,0	65,7	2,3	200,0	0,9	NM
	R. Guapi	0,0	7,6	8,1	15,4	27,1	<2	450,0	0,9	NM
Gorgona	Antiguo Muelle	29,4	6,4	8,1	12,7	<2	<2	<1,8	0,4	1,5
	Gorgonilla	29,9	6,7	8,1	11,8	2,9	4,2	<1,8	0,4	NM
	Horno Gorgona	29,8	6,8	8,1	12,0	<2	3,0	<1,8	0,3	NM
	P. Blanca	28,9	6,8	8,1	15,2	2,3	4,1	4,0	0,3	<0,075
	Vertimiento Gorgona	26,7	6,7	8,1	25,7	<2	<2	540,0	0,2	0,5

Considerando la clasificación de las aguas por los valores de salinidad propuesta por [Knox \(2001\)](#); Figura 14-3), se determinó que de las estaciones REDCAM Cauca actuales, el 52 % están en aguas marinas, que corresponden a las ubicadas en la isla Gorgona y algunos frentes de ríos, el 21 % de las estaciones están ubicadas en áreas estuarinas que corresponden algunos frentes de ríos de alto caudal y ríos donde en mareas altas ingresa agua marina, y el 27 % de estaciones restantes están en agua dulce, corresponden a los principales ríos del departamento que se monitorean. A partir de estos resultados, solo a 12 estaciones monitoreadas en agosto del 2021 se les calculó el ICAM_{PFF}.

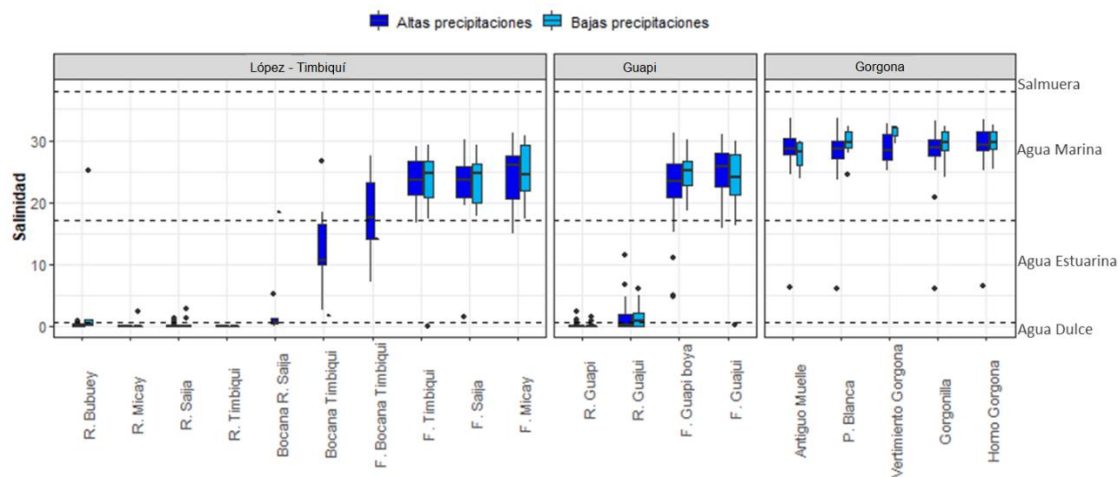


Figura 14-3. Variación histórica (2001-2020) de la salinidad del agua en las estaciones y zonas REDCAM en Cauca. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para tipo de agua propuestos por [Knox \(2001\)](#).

Los resultados de la aplicación del ICAM_{PFF} para el muestreo en agosto de 2021, mostraron que la calidad del agua superficial del 33 % de las estaciones evaluadas fue óptima, el 50 % fue adecuada y el 17 % fue aceptable. Las estaciones con calidad aceptables fueron bocana del río Saija y frente del río Guajuí, en la primera estación la calidad aceptable fue debido a elevadas concentraciones de nutrientes inorgánicos, sólidos suspendidos y Coliformes Termotolerantes; y en la segunda estación la calidad aceptable fue debido a bajas concentraciones de clorofila *a*.

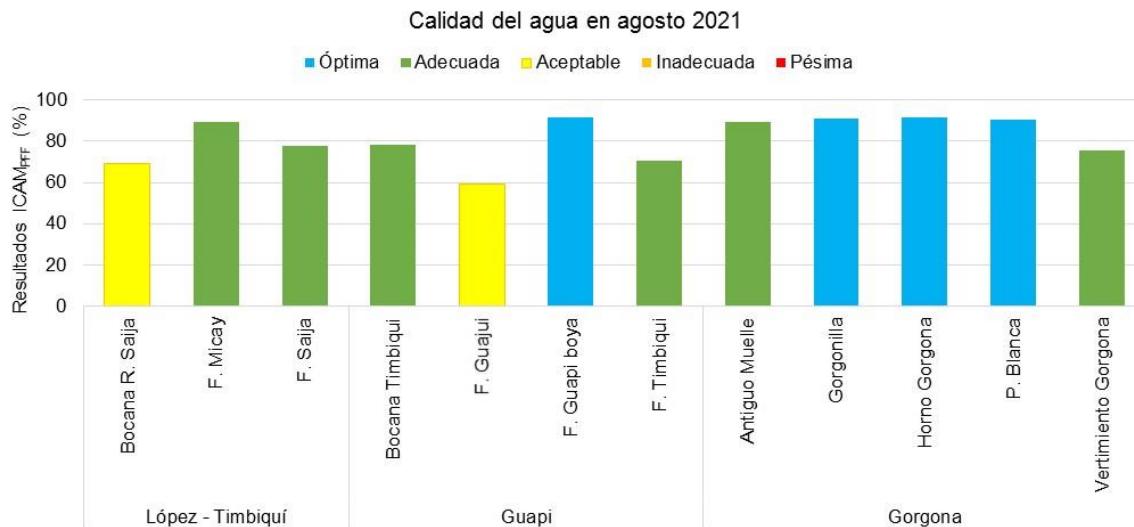


Figura 14-4. Calidad de las aguas marinas y estuarinas de las estaciones REDCAM de Cauca, en el muestreo de agosto de 2021, evaluada con el ICAM_{PFF}.

Históricamente la calidad del agua en las estaciones del departamento del Cauca ha mostrado en mayores proporciones estaciones con calidad adecuada para la preservación de flora y fauna acuática (Figura 14-5), presentándose desde el 2014 mayor recurrencia de calidad aceptable e inadecuada que se han relacionado con elevadas concentraciones de nutrientes, sólidos suspendidos y Coliformes Termotolerantes. Las variables CTE, nitratos y ortofosfatos en concentraciones elevadas son indicativos de afectaciones por vertimientos de aguas residuales, que son constantes en las poblaciones costeras de Cauca, por el déficit en el saneamiento básico ([INVEMAR, 2018](#)), y en otros casos concentraciones altas de nutrientes y sólidos suspendidos puede responder a escurrimientos de nutrientes de áreas agrícolas o erosión de las riberas de los ríos por crecientes o cambios en el uso del suelo. A esto se puede sumar actividades de minería en las cuencas altas de los ríos o extracción de materiales de construcción de los ríos.

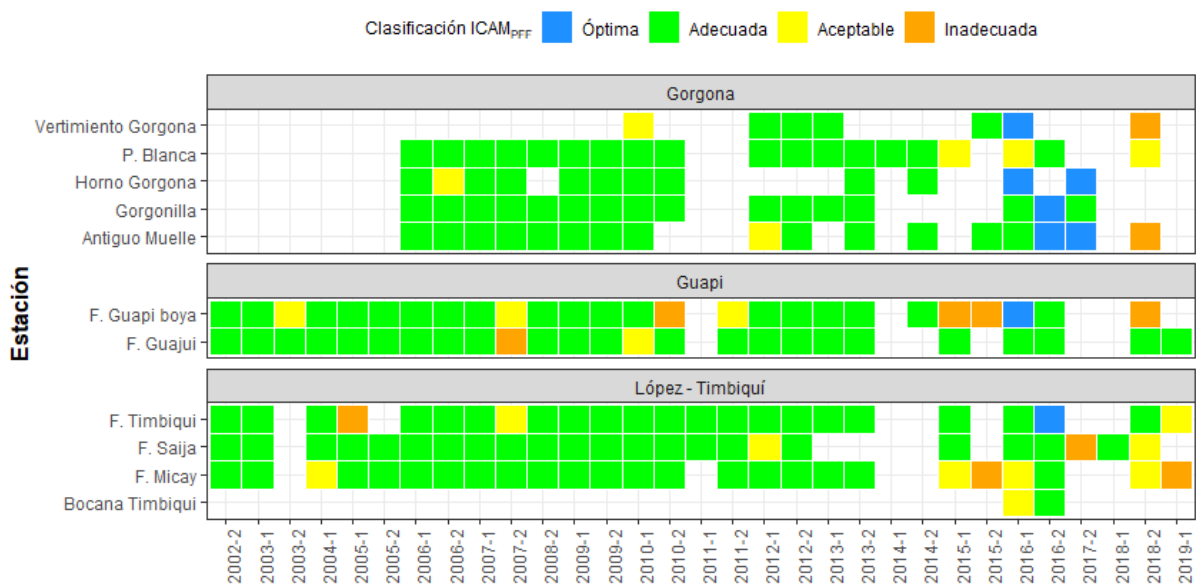


Figura 14-5. Resultados históricos de la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las estaciones REDCAM en Cauca, entre los años 2001 al 2019.

Como complemento a la medición de la calidad del agua, en agosto de 2021 se tomaron muestras para medir mercurio total en aguas, en las estaciones de los ríos Micay, Saija, Timbiquí y Guapi, y sus respectivos frentes, además del frente del río Guajuí y Vertimiento Gorgona, en las cuales, todas las mediciones estuvieron por debajo del límite de cuantificación del LABCAM (0,3 µg/L), el cual está por debajo de los valores de referencia para efectos adversos en organismos de agua dulce (0,6 µg/L) y marinos (0,4 µg/L) propuestas por las directrices para la calidad del agua dulce y marina del gobierno australiano ([ANZECC y ARMCANZ, 2000](#)).

14.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

La zona del parque Gorgona es uno de los atractivos turísticos del departamento del Cauca, en esta zona las cuatro estaciones donde se han medido los indicadores microbiológicos, se pueden observar en la Figura 14-6 un nivel de cumplimiento alto en la gran mayoría de las mediciones

entre 2006 y 2016, lo cual indica que todas las mediciones han estado por debajo de los criterios de calidad nacionales para Coliformes y el valor de referencia para enterococos. Entre 2017 y 2019 se presentaron con mayor frecuencia niveles de cumplimiento medio y bajo (Figura 14-6).

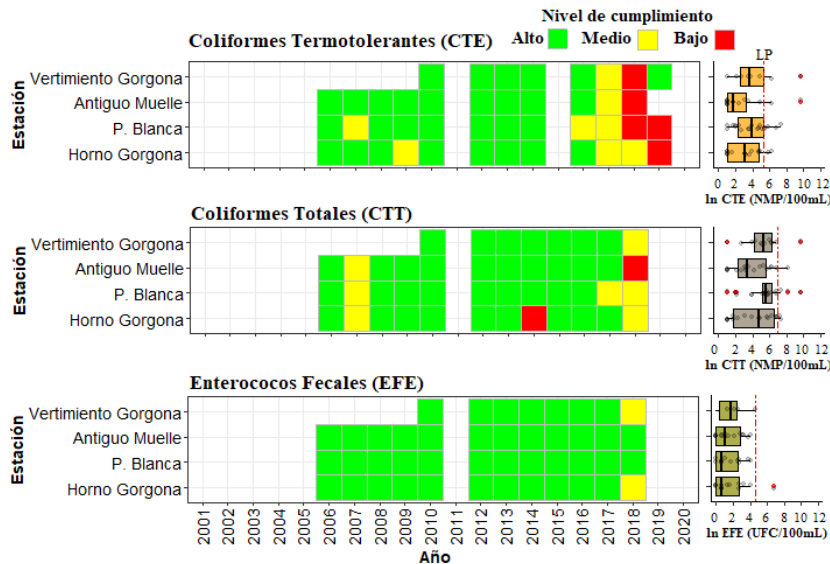


Figura 14-6. Registros históricos del cumplimiento de indicadores microbiológicos de calidad del agua para el uso recreativo en playas de Cauca. Nivel de cumplimiento: Alto, el 100% de las mediciones anuales cumplieron con el límite permisible; Medio, ≥ 50 y $< 100\%$ de las mediciones anuales cumplieron con el límite permisible; Bajo, $< 50\%$ de mediciones anuales cumplieron con el límite permisible.

En agosto de 2021, las estaciones de los ríos de las zonas de López- Timbiquí y Guapi, además de playa Blanca en la zona de Gorgona tuvieron concentraciones de Coliformes Totales (CTT) por encima del límite permisible por contacto primario (Figura 14-7), mientras que las estaciones Antiguo muelle, Gorgonilla y horno Gorgona, ubicadas en el parque natural isla Gorgona, tuvieron concentraciones de CTT adecuadas para el uso recreativo del agua.

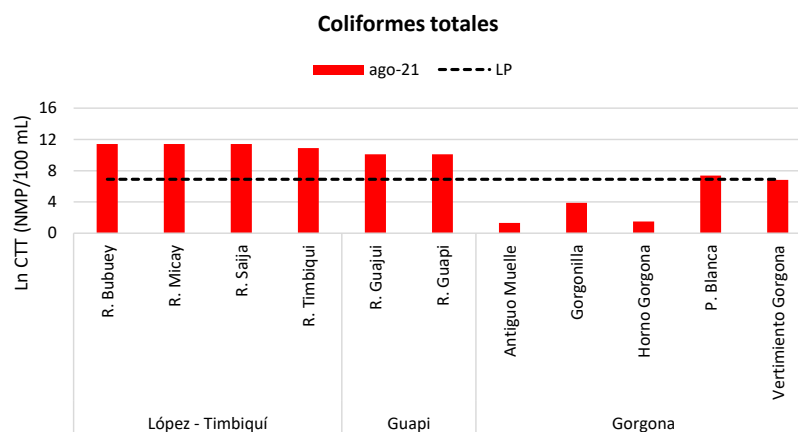


Figura 14-7. Logaritmo natural de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) en estaciones REDCAM Cauca, en agosto de 2021. El límite permisible para el uso recreativo del agua es 1000 NMP/100 mL ($\text{Ln} = 6,9$) según Decreto 1076 de 2015 (MinAmbiente, 2015).

Las mediciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) mostraron que las estaciones de las zonas López-Timbiquí y Guapi y la estación vertimiento Gorgona presentaron valores por encima de criterio de calidad (Figura 14-8), indicando probables afectaciones por vertimientos de aguas residuales.

Los Enterococos Fecales medidos solamente en las playas de la isla Gorgona se registraron por debajo de 1 UFC/100 mL en la mayoría de las estaciones de Gorgona, excepto la estación Vertimiento Gorgona que tuvo un registro de 27 UFC/100 mL encontrándose por debajo del valor de referencia para el uso recreativo del agua (EFE <100 UFC/100 mL) descrito en la Directiva 2006/7/EC del Parlamento Europeo ([Unión Europea, 2006](#)).

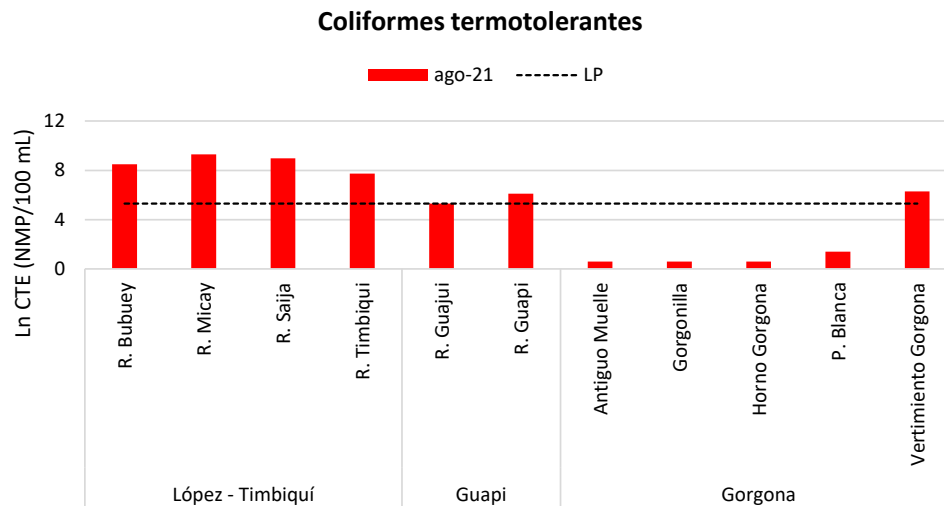


Figura 14-8. Logaritmo natural de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) en estaciones REDCAM Cauca, en agosto de 2021. El límite permisible para el uso recreativo del agua es 200 NMP/100 mL (Ln= 6,9) según Decreto 1076 de 2015 ([MinAmbiente, 2015](#)).

14.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

Aunque en el año 2001 no se monitorearon contaminantes en sedimentos en estaciones REDCAM Cauca, en años anteriores se ha realizado caracterizaciones granulométricas de los sedimentos, mediciones de carbono, metales pesados y plaguicidas.

La granulometría fue determinada entre 2016 y 2018 en diferentes estaciones ubicadas en los ríos Saija, Timbiquí, Guajuí y Guapi (Figura 14-9), encontrándose tamaños medios del grano menores a 63 μm , caracterizándose con un tipo de sedimento lodoso (limo + arcilla). Por otra parte, algunas estaciones mostraron cambios entre 2017 y 2018, como, por ejemplo, Bocana del río Saija que varió entre lodo y arena muy fina (<63-125 μm), los frentes norte y sur de la bocana del río Saija entre arena muy fina y arena fina (125 μm – 250 μm). Estaciones como desembocadura del río Saija, frente de Bocana río Saija y frente del río Guajuí se mantuvieron con un tipo de sedimento de Arena muy fina y, playa Blanca-Guapi con tipo Arena fina (125 - 250 μm). Por su lado, playa Blanca y río Micay se caracterizaron con un tipo de sedimento de Arena gruesa (500 – 1000 μm) (Figura 14-9).

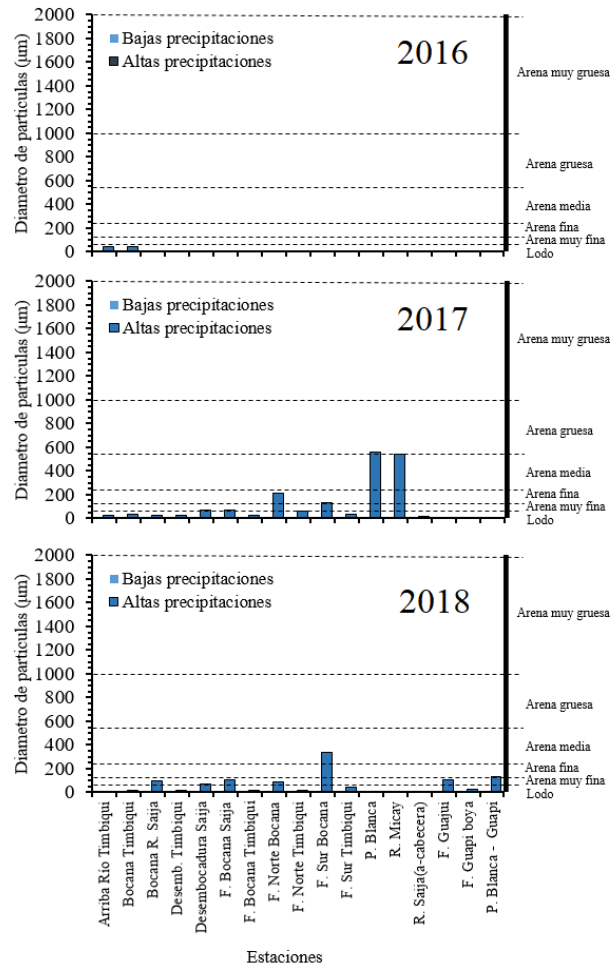


Figura 14-9. Clasificación granulométrica de los sedimentos de las estaciones REDCAM Cauca medidos en épocas de baja precipitaciones y altas precipitaciones de 2019, según el método de Folk y Ward (1957).

Por otra parte, el contenido de materia orgánica (MO) en sedimentos analizados entre 2015 y 2018 mostró valores entre 1 y 99,1 mg/g (Figura 14-10). Los altos valores de MO fueron registrados en las estaciones de las bocanas y frentes de los ríos Saija y Timbiquí, en la desembocadura del río Saija y en río Saija (a-cabecera), en las cuales se desarrollan extensos bosques de manglar con diferentes esteros con movimiento hídrico de doble vía por las fluctuaciones mareales (Sierra *et al.*, 2009).

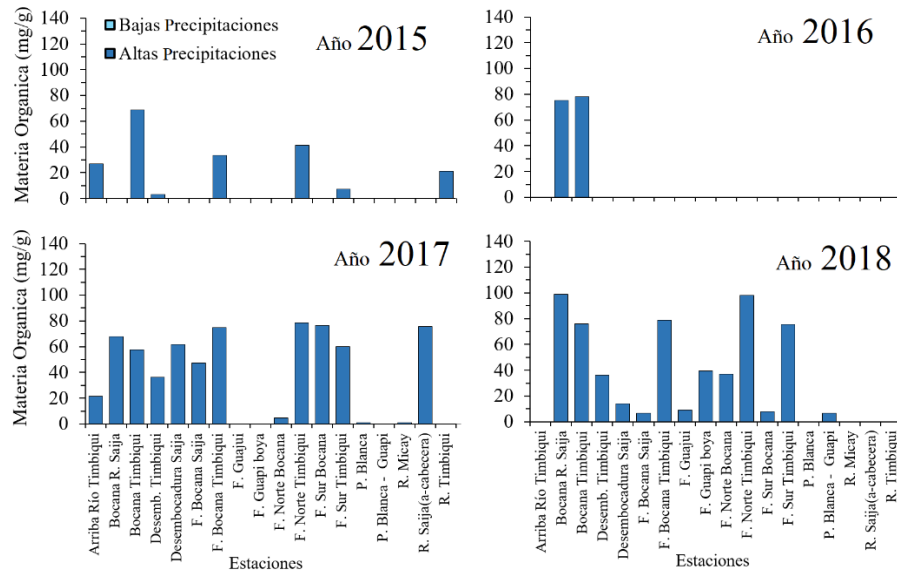


Figura 14-10. Materia Orgánica (mg/g) de las muestras de sedimentos recopiladas entre 2014 y 2020, en las estaciones del departamento de La Guajira Las barras cian y azules diferencian la época de baja precipitaciones y altas precipitaciones, respectivamente.

Las concentraciones de metales en sedimentos marinos y estuarinos registrados entre 2014 y 2018 para el departamento del Cauca (Figura 14-11), presentaron valores que oscilaron entre 14,1 y 87,4 $\mu\text{g/g}$ para Cobre (Cu), 47,5 y 439 $\mu\text{g/g}$ para Cromo (Cr), 65,9 y 235 $\mu\text{g/g}$ para Níquel (Ni), 27,7 y 106 $\mu\text{g/g}$ para Zinc (Zn), 8,2 y 44,8 $\mu\text{g/g}$ para Plomo (Pb), 10,1 y 137 ng/g para Mercurio (Hg), 23,5 y 57,1 mg/g para Hierro (Fe); el Cadmio (Cd) en todos los años estuvo por debajo del Límite de Cuantificación del método usado por el LABCAM, entre 2014 y 2017 (LC=0,5 $\mu\text{g/g}$); y 2018 (LC=12,5 $\mu\text{g/g}$).

En el transcurso del tiempo se observó en la mayoría de estaciones valores de Cu por encima del límite de referencia para efectos umbral (TEL: 18,7 $\mu\text{g/g}$ Cu; [Buchman, 2008](#)). Así mismo, se evidenciaron concentraciones de Cr sobre el límite TEL (52,3 $\mu\text{g/g}$ Cr), no obstante, en algunas estaciones como playa Blanca y frente del río Guajú las concentraciones sobrepasaron los límites de referencia para efecto probable (PEL: 160 $\mu\text{g/g}$ Cr) en 2017 y 2018 respectivamente (Figura 14-11). Por otro lado, el Pb presentó valores por encima del límite de referencia TEL (30,2 $\mu\text{g/g}$ Pb) para el año 2014. Particularmente entre 2014 y 2018, los niveles de concentración de Ni sobrepasaron el límite de referencia para efecto probable (PEL: 42,8 $\mu\text{g/g}$ Ni) (Figura 14-11).



Figura 14-11. Metales totales en sedimentos marinos/estuarinos monitoreados entre 2014 y 2018 en Cauca. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron de Buchman (2008). Límite de cuantificación del método (LCM) utilizado en el LABCAM.

Entre 2014 y 2015, en los sedimentos de las estaciones río Timbiquí, desembocadura Timbiquí y Arriba río Timbiquí se registraron concentraciones de Cu, Cr y Ni por encima del límite de referencia TEL ($35,7 \mu\text{g Cu/g}$ y $37,3 \mu\text{g Cr/g}$ y $36 \mu\text{g Ni/g}$) (Figura 14-12). El origen de la

concentraciones de estos metales en sedimentos se pueden relacionar con los aportes de residuos antropogénicos provenientes de fertilizantes, lodos residuales y la presencia de arcilla que facilitan la concentración de este metal en el sustrato (Vargas *et al.*, 2004). Es importante señalar que en el sedimento del río Timbiquí se ha registrado concentraciones de mercurio en todos los años de monitoreo, debido a que este río tiene es uno de los más afectados por la minería.

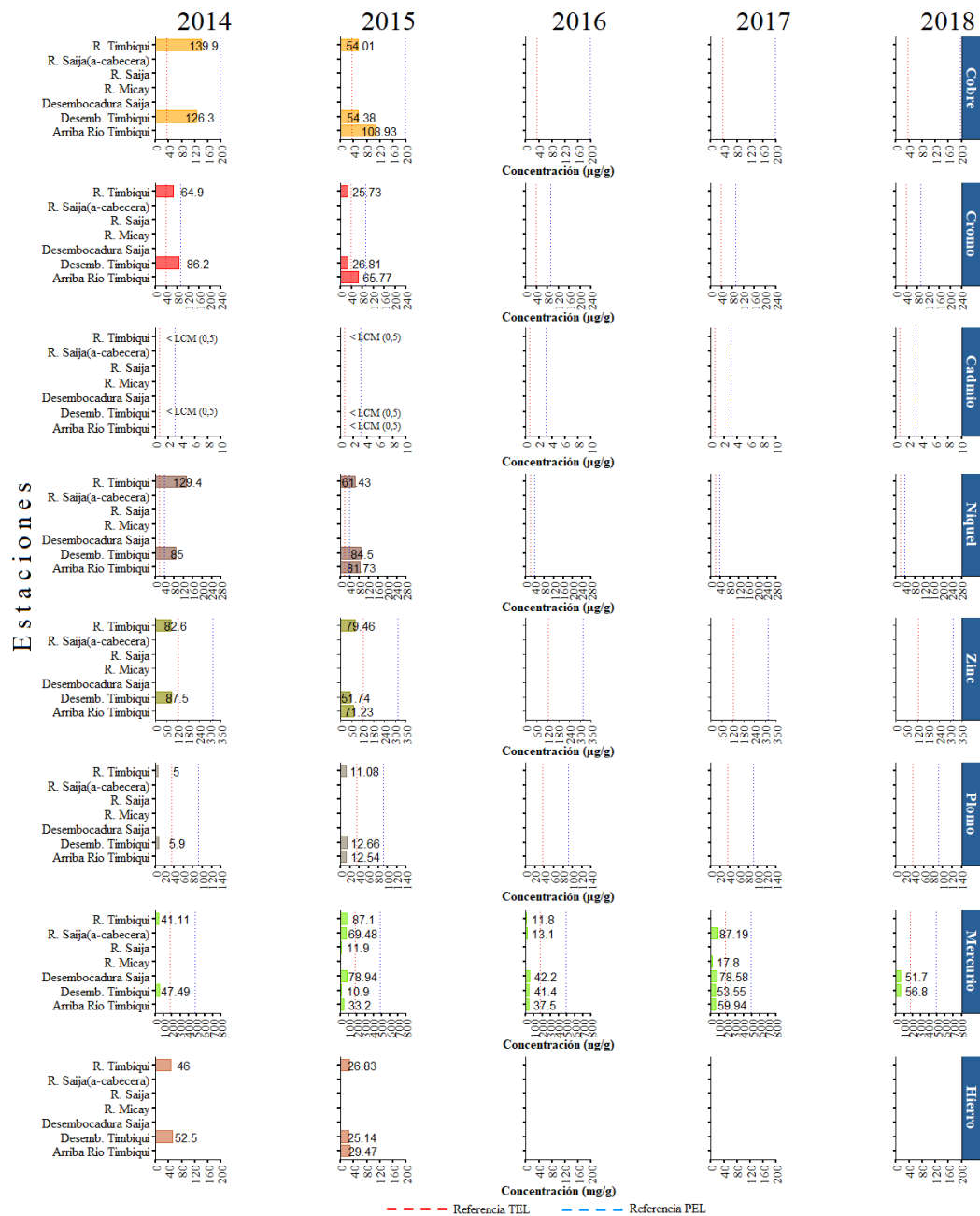


Figura 14-12. Metales totales en sedimentos de agua dulce monitoreados entre 2014 y 2018 en Cauca. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) se tomaron de Buchman (2008). Límite de cuantificación del método (LCM) utilizado en el LABCAM.

De los 36 plaguicidas organoclorados medidos entre 2015 y 2018, fueron detectados de menor a mayor concentración, pp-DDE (P42), Heptacloro (P15), beta-HCH (P13), Metoxicloro (P17), Endrin Aldehído (P10), Endrin Cetona (P11), Ethoprop (P57), Endosulfan sulfato (P09) y Organoclorados Totales (OCT), con valores entre 2,03 y 47,3 ng/g, representando un 2,4% del total de la muestra (n=544) analizada durante el periodo de estudio (Figura 14-13). Las estaciones receptoras de estos contaminantes son Bocana río Saija, Bocana río Timbiquí y sus frentes.

Solo uno de los trece Plaguicidas Organofosforados medidos por la REDCAM fue detectado durante los muestreos realizados entre 2015 y 2018. Se registró Cis-Permetrina (P30) de menor a mayor cantidad en las estaciones frente Sur Timbiquí, Bocana río Saija, Bocana Timbiquí, F. Bocana Timbiquí y Frente Norte Timbiquí, cuyas concentraciones estuvieron entre 9,1 y 72,3 ng/g. Se conoce que en el departamento del Cauca existe un gran porcentaje de suelo para ganadería (CCCAUCA, 2017), cabe mencionar que este tipo de sustancia plaguicida se asocia al control de ectoparásitos, el cual al bañar el ganado, cierta cantidad de esta mezcla de aguas residuales pueden terminar en el río y sus desembocaduras (Negrete *et al.*, 2016). Por otro lado, de las 167 muestras de plaguicidas analizadas durante el periodo de estudio, un 45,5% estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método utilizado por LABCAM y, un 51,5% fueron valores no detectados (Figura 14-13).

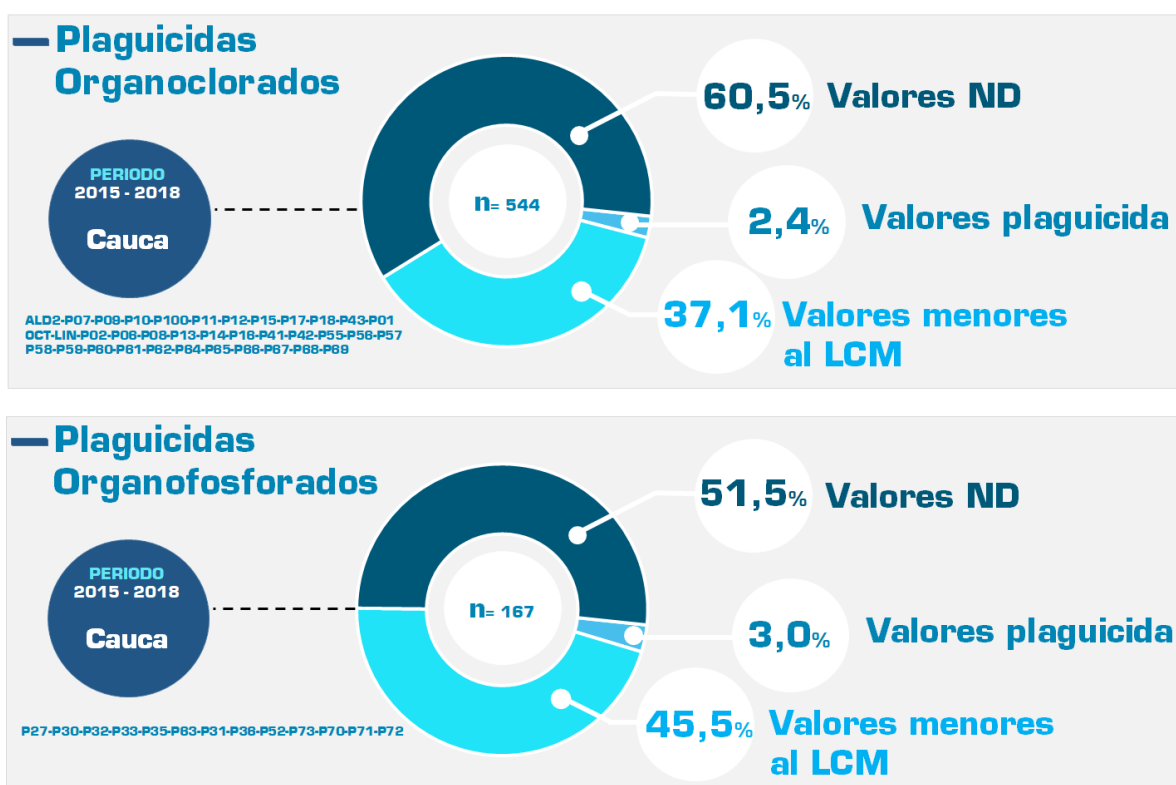


Figura 14-13. Representación histórica de los resultados de plaguicidas organoclorados y organofosforados medidos en las muestras de sedimento del departamento de Cauca.

14.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ El cálculo del ICAM_{PPF} mostró buena calidad del agua para la preservación de flora y fauna en el 83 % de las estaciones REDCAM Cauca durante el monitoreo de agosto de 2021.
- ❖ La calidad microbiológica de los ríos monitoreados y de la estación vertimiento Gorgona en la isla de Gorgona presentaron incumplimiento en los criterios nacionales de calidad para el uso recreativo del agua según concentraciones de Coliformes Totales y Termotolerantes.
- ❖ El mercurio total en aguas se encuentra en valores por debajo del valor de cuantificación del laboratorio y de las referencias de efectos adversos en organismos acuáticos de agua dulce y marinos.
- ❖ Los sedimentos del río Timbiquí presenta concentraciones de metales pesados como cobre, cromo, níquel, mercurio, en algunas mediciones sobrepasan las referencias internacionales de efectos adversos en organismos de agua dulce y estuarinos.

15. DEPARTAMENTO DE NARIÑO

El departamento de Nariño se ubica en el Pacífico colombiano, y en su litoral se encuentran los ecosistemas estratégicos de manglar más representativos del Pacífico, así como las playas, acantilados, playones intermareales y estuarios, con precipitaciones promedio que oscilan entre 2.500 y 7.000 (IDEAM *et al.*, 2007; Gómez-Cubillos *et al.*, 2015). La zona costera del departamento comprende los municipios de San Andrés de Tumaco, Francisco Pizarro, Mosquera, Olaya Herrera, La Tola, El Charco y Santa Bárbara (Figura 15-1), donde se ubican 352.254 habitantes de acuerdo con las proyecciones del año 2020 (DANE, 2021).

Las principales fuentes terrestres de contaminación al mar en Nariño 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 (Figura 15-1; INVEMAR, 2018).

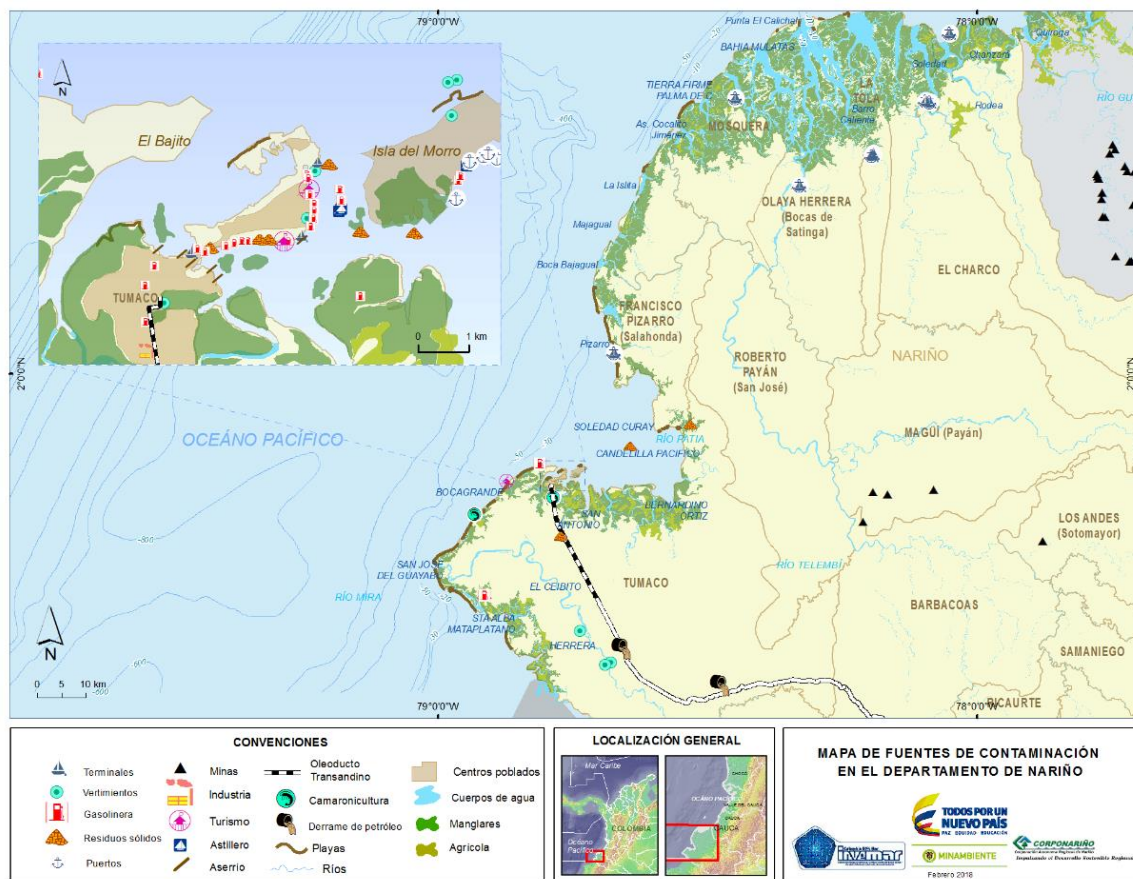


Figura 15-1. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Nariño, Pacífico colombiano.

En Nariño, la REDCAM tiene 30 estaciones de monitoreo distribuidas en tres zonas (Figura 15-2), la **zona Costa Norte** que se extiende desde la frontera con el departamento del Cauca La red de estaciones del monitoreo REDCAM en el departamento se distribuye en tres (3) zonas geográficas: 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 15-2); la **zona Ensenada de Tumaco** que cubre el municipio de Tumaco, donde está la mayor población, se desarrollan actividades agropecuarias, mineras, pesqueras, portuarias, de comercio y de turismo y desembocan los ríos Rosario, Mejicano, Guayaros, Changüí y Curay (Figura 15-2); y la **zona Costa Sur**, que comprende el área desde el sur de la Ensenada de Tumaco hasta el río Mataje, en el límite con el Ecuador, donde se desarrollan actividades agropecuarias y han sido afectadas en mayor medida por derrames de petróleo (Figura 15-2; [INVEMAR, 2018](#)).

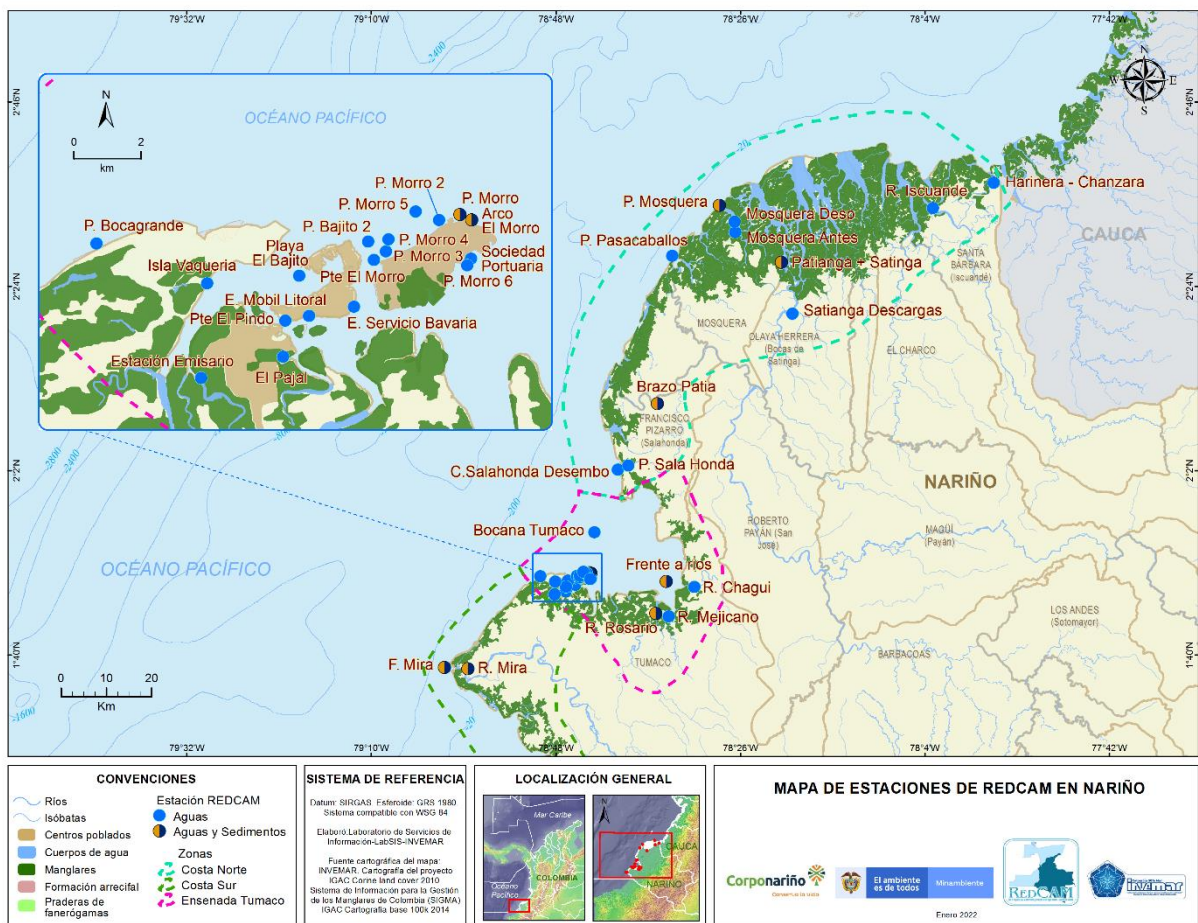


Figura 15-2. Mapa con las estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento de Nariño. Los puntos azules indican las estaciones de muestreo de agua superficial, y los puntos bicolors (azul y marrón) corresponden a estaciones donde se muestrea agua y sedimentos superficiales.

15.1 CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS

15.1.1 Calidad de agua para la preservación de flora y fauna

El comportamiento histórico de las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Nariño (Figura 15-3), demuestra que el 58% tienen condiciones de agua marina, según la escala de salinidad del agua sugerida por Knox (2001), estas estaciones se encuentran principalmente en la ensenada de Tumaco y la mayoría de los muestreos se han realizado en condiciones de marea alta; el 29% de las estaciones se clasificaron como agua estuarina y el 13% como agua dulce (Figura 15-3).

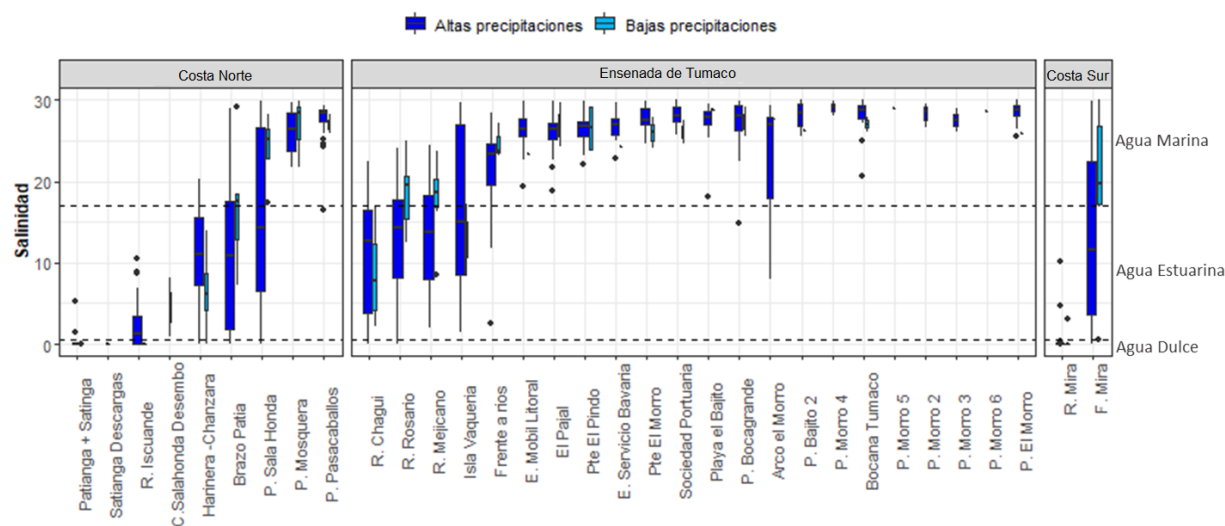


Figura 15-3. Gráfico de caja de la variación histórica (2001-2019) de la salinidad del agua en las estaciones REDCAM en el departamento de Nariño, diferenciado por zona de muestreo. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75 de los datos, la línea interna es la mediana y los extremos de las líneas verticales representan los valores mínimo y máximo. 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).

La evolución histórica del estado de la calidad de las aguas se evaluó aplicando el Índice de Calidad de Aguas para Preservación de flora y fauna -ICAMPPF (Vivas-Aguas et al., 2014) a nivel de estaciones (Figura 15-4). Destacando que, durante las condiciones de marea alta en el muestreo de mayo de 2019 (Figura 15-5), predominaron condiciones adecuadas, sin embargo, la estación Arco el Morro presentó calidad aceptable. Sin embargo durante marea baja, Arco el Morro presentó calidad inadecuada y condición aceptable en el Bajito y el Morro (Figura 15-5a) Estas condiciones de calidad, evidenciaron la influencia de las mareas, en donde el recambio favorece los procesos de dilución de los contaminantes en el agua superficial (Vivas-Aguas *et al*, 2019). La calidad del agua marina y costera en el departamento de Nariño se encuentra influenciada por los cambios entre las mareas, en donde el recambio de una a otra favorece los procesos de dilución de los contaminantes en el agua superficial (IDEAM 2019; Casanova et al 2015).

El ICAM ha mostrado una alta variabilidad de la calidad del agua marina y costera del departamento, con cambios interanuales (Figura 15-4). En el balance histórico se observaron condiciones favorables para la preservación de flora y fauna en el 85% de los puntos de muestreo evaluados, de los cuales el 2% obtuvo calidad óptima, 59,9% adecuada y 23,2% aceptable; mientras que en el 14,8% de manera recurrente ha mostrada mala calidad del agua, con el 13,1% de calidad inadecuada y el 1,7% de calidad.

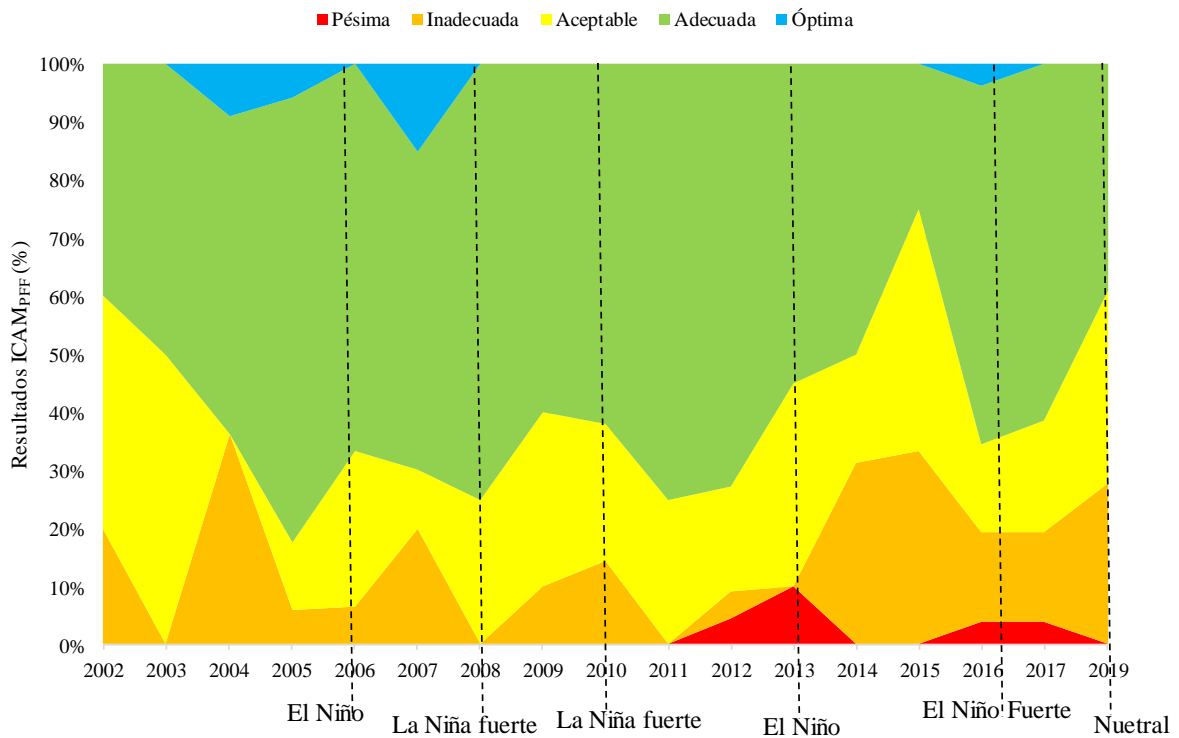
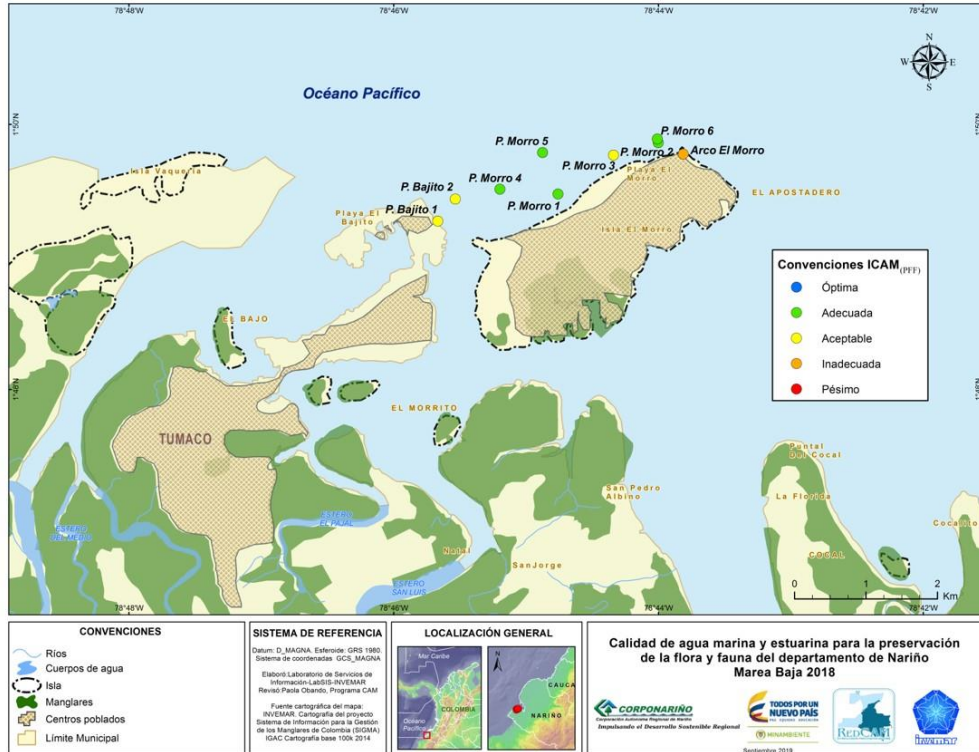
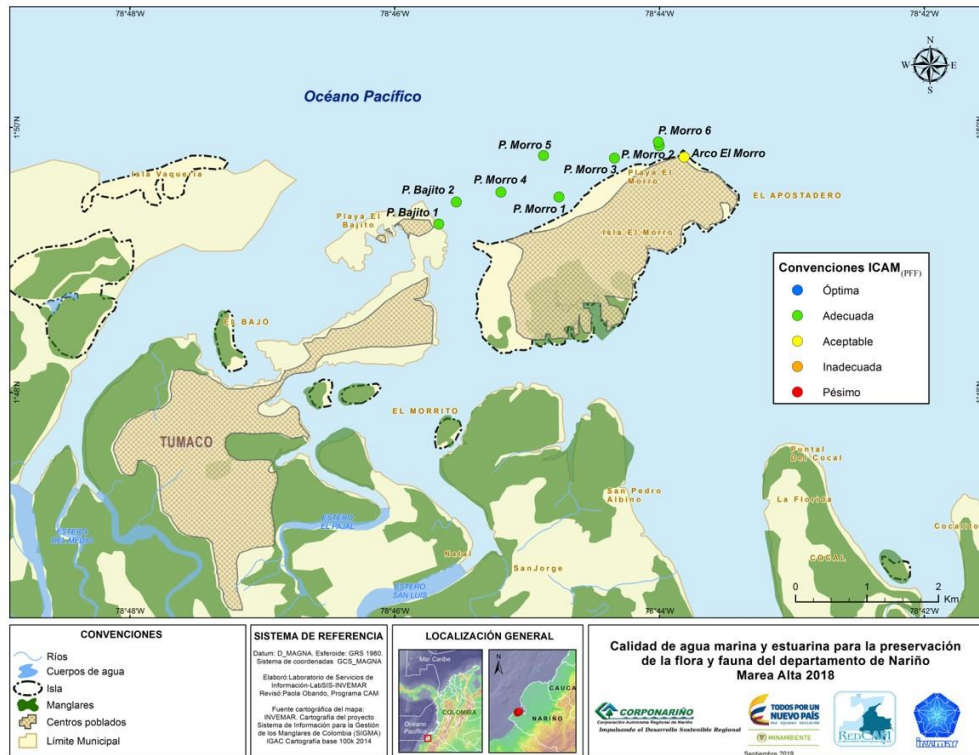


Figura 15-4. Evolución histórica del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM) en el periodo 2001 a 2019 en el departamento Nariño. Las líneas transversales negras indican años con una incidencia del evento El Niño y La Niña según NOAA (2020) y los boletines de seguimiento al ciclo ENOS del IDEAM (2021).



a



b

Figura 15-5. Calidad del agua en las estaciones de las playas de El Morro y El Bajito en el muestreo del 2 de mayo 2019 en marea baja (a) y marea alta (b). Tomado de: Vivas-Aguas *et al* 2019

Contrastando los resultados del ICAM en Nariño entre épocas climáticas, fue evidente la influencia en época de bajas precipitaciones cuando se presenta el fenómeno de surgencia en la ensenada de Tumaco, relacionados con el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical –ZCIT, los cuales favorecen a la productividad en la zona costera y puede incrementar la pesquería de cardúmenes, camarones y moluscos (Rodríguez-Rubio y Stuardo, 2002). Además, se presenta una influencia negativa durante las altas precipitaciones, donde el incremento de las lluvias produce un aumento de las escorrentías urbanas y agrícolas que arrastran todo tipo de residuos contaminantes. En el análisis histórico detallado para las estaciones del departamento de Nariño, se observa la recurrencia de calidad inadecuada en Sociedad Portuaria, puente el Pindo, frente a ríos y Arco el Morro (Figura 15-6). Esta condición de calidad inadecuada ha estado determinada por las altas concentraciones de Coliformes Termotolerantes.

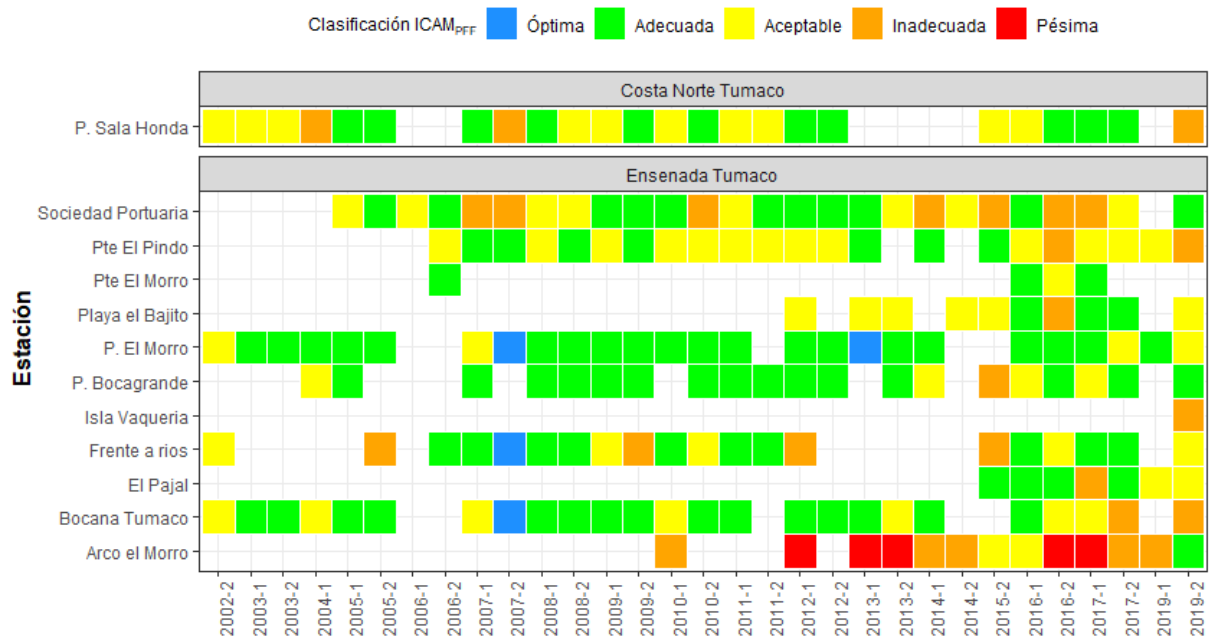


Figura 15-6. Resultados históricos de la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las estaciones REDCAM en Nariño, entre los años 2001 al 2019.

Para el año 2021, la estimación del ICAM_{PFF}, M. Se evaluaron 13 estaciones, con valores del ICAM que oscilaron entre aceptable (37,15) y adecuada (82,8), donde el 46,2% de los registros estuvieron en calidad adecuada, el 38,5% en aceptable y el 15,4% en calidad inadecuada (Figura 15-7). En el mes de octubre, predominaron las aguas con calidad adecuada, sin embargo, se presentaron condiciones inadecuadas en las estaciones playa Bocagrande y puente el Pindo, reiterando la tendencia histórica en puente el Pindo. Esta información indica que es necesario tomar acciones frente las fuentes de contaminación persistentes en esta zona, las cuales están generando los estresores que contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas marinas y costeras.

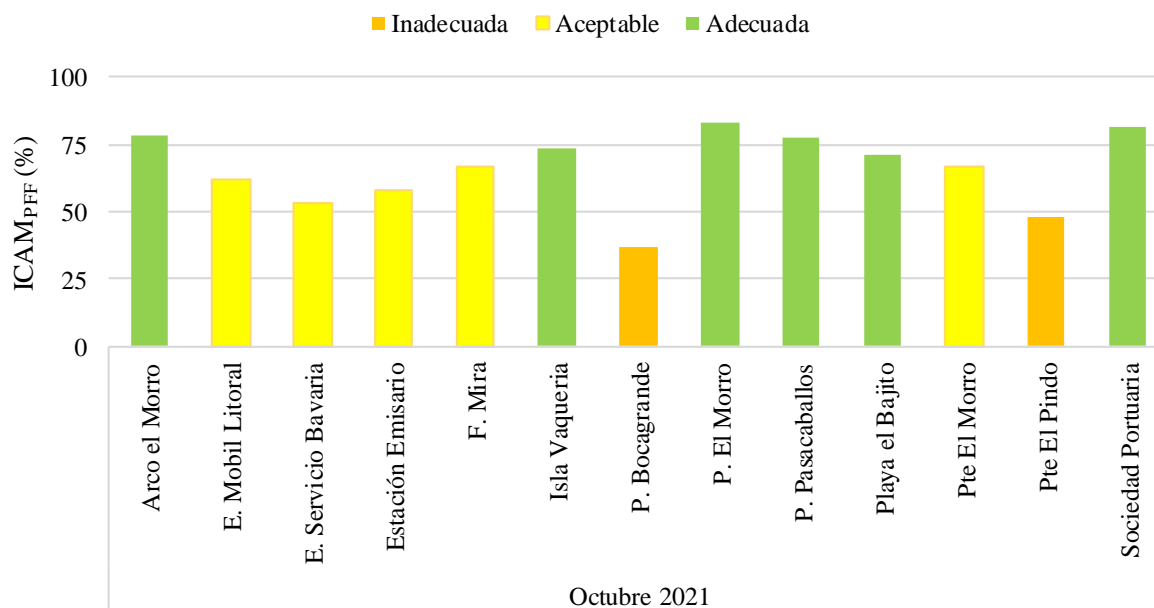


Figura 15-7. Calidad del agua estimada con el ICAM en el departamento de Nariño en el año 2021

15.1.2 Calidad del agua para el uso recreativo en playas turísticas

Desde el año 2002 las concentraciones de CTE, CTT y EFE, han mantenido un comportamiento fluctuante (Figura 15-8), con niveles de cumplimiento e incumplimiento en diferentes momentos, sin embargo, el análisis histórico mostró que en las playas el Bajito, el Morro y Arco el Morro han aumentado con el tiempo las concentraciones de CTE y CTT (Figura 15-8), superando de manera reiterativa el criterio de calidad para uso recreativo por contacto primario (natación, 200 NMP de CTE/100 mL; MinAmbiente, 2015). Las mayores concentraciones de CTE se han presentado en Arco el Morro con 7.900 NMP/100mL (junio 2010), 92.000 NMP/10mL (junio 2012), 110.000 NMP/10mL (junio 2013), 22.000 NMP/100mL (abril 2014), 920.000 NMP/100mL (diciembre 2016), 54.000 NMP/100mL (mayo 2017) y 3.300 NMP/100mL (mayo 2019).

Estos cambios de calidad microbiológica han estado relacionados tanto con factores climáticos marcados por épocas de altas y bajas precipitaciones, la presencia de factores antropogénicos relacionados con actividades turísticas y las descargas de los ríos que reciben vertimientos directos de aguas residuales sin tratamiento. Además, históricamente Arco el Morro es la estación que ha presentado el valor más elevado de EFE, alcanzando en mayo 2017 una concentración de 590 UFC/100mL lo cual, de acuerdo con los lineamientos de la OMS (2003), al estar >500 UFC/100mL hay una probabilidad >10% de que los usuarios de las playas contraigan enfermedades gastrointestinales (EGI) y >3,9% de contraer enfermedades respiratorias febriles agudas (ERFA).

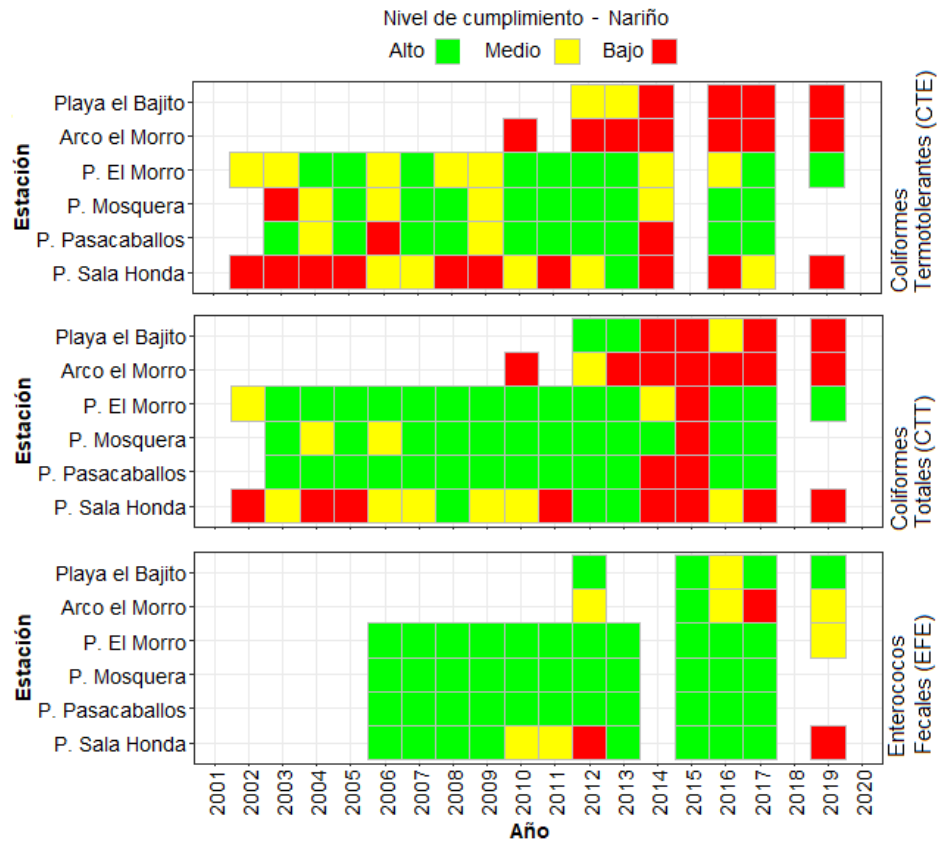


Figura 15-8. Registros históricos del nivel de cumplimiento de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE), Coliformes Totales (CTT) y Enterococos Fecales (EFE) para el uso recreativo del agua en el departamento de Nariño. La escala de valoración del nivel de cumplimiento corresponde a: Alto, el 100% de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Medio, cuando el 50% o más sin llegar al 100% (≥ 50 y $< 100\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible; Bajo, cuando menos del 50% ($< 50\%$) de las muestras registradas anualmente en una estación cumplieron con el límite permisible. LP: Límite Permisible.

15.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

De acuerdo con las características granulométricas de los sedimentos evaluados, se logró identificar para el año 2019 un cambio de tamaño medio de grano entre épocas, específicamente en la estación Arco el Morro. Se evidenció en época de bajas precipitaciones un tamaño medio del grano de 167,8 μm , determinando el tipo de sedimento para esta estación como Arena fina, sin embargo, en época de altas precipitaciones se observó una disminución del tamaño medio de la partícula, con un valor de 78,2 μm clasificando el tipo de sedimento como Arena muy fina. Por otra parte, la playa el Morro presentó sedimento Arena fina con tamaño medio del grano de 166,6 μm en época de bajas precipitaciones (Figura 15-9).

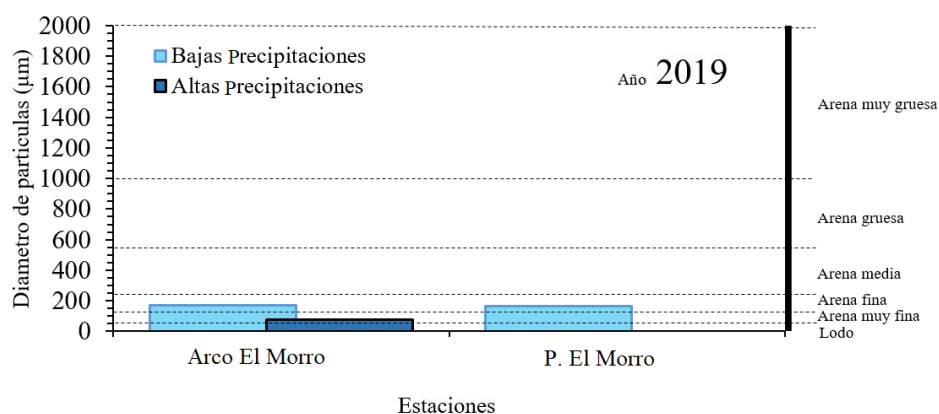


Figura 15-9. Tamaño medio de partícula del sedimento (μm) y su clasificación, para las estaciones monitoreadas en el 2019 para el departamento de Nariño. Las barras azul oscuro y azul claro diferencian la época de bajas precipitaciones y altas precipitaciones, respectivamente. Las líneas horizontales corresponden a los rangos de clasificación para el tipo de sedimento según el método de Folk y Ward (1957).

Cabe mencionar que el departamento de Nariño solo cuenta con registros de granulometría en 2019, lo cual no permitió realizar un análisis de estas características en un periodo más extenso. Así mismo, la variable Carbono Orgánico Total (COT), no fue cuantificable con registro por debajo del límite de cuantificación del método usado por el LABCAM (LC= 0,1%), en la estación Arco el Morro para 2019.

Las concentraciones de metales pesados obtenidas en sedimentos superficiales de muestras tomadas en estaciones en ambientes marinos y estuarinos en el periodo 2014 y 2017, y el año 2019, variaron entre 16 y 37,4 $\mu\text{g/g}$ para Cobre (Cu); 61,4 y 129 $\mu\text{g/g}$ para Cromo (Cr), 19,1 y 31,2 $\mu\text{g/g}$ para Niquel (Ni), 66 y 157 $\mu\text{g/g}$ para Zinc (Zn), 12,2 y 25,9 $\mu\text{g/g}$ para Plomo (Pb), 8,2 y 88,2 ng/g para Mercurio (Hg), 39,6 y 76,3 mg/g para Hierro (Fe; Figura 15-10). Por su parte el cadmio (Cd) registró valores por debajo del Límite de Cuantificación del método usado por el LABCAM, entre 2014 y 2017 (LC=0,5 $\mu\text{g/g}$) y 2019 (LC=12,5 $\mu\text{g/g}$).

En particular, la estación Frente a ríos presentó en la mayoría de años concentraciones de Cu, Cr y Ni por encima del límite de referencia para efectos umbral (TEL: 18,7 $\mu\text{g/g}$ Cu; 52,3 $\mu\text{g/g}$ Cr y 15,9 $\mu\text{g/g}$ Ni), propuestos por la NOAA (Buchman, 2008; Figura 15-10). Por otra parte, la estación Arco el Morro registró para 2019 concentraciones de Zn superiores al límite (TEL: 124 $\mu\text{g/g}$ Zn).



Figura 15-10. Concentración de metales totales en sedimentos marinos y estuarinos recopilados entre 2014 y 2019 en el departamento de Nariño. 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.

Para el periodo comprendido entre 2014 – 2017 y 2019, se registraron las concentraciones de plaguicidas organoclorados y organofosforados presentes en las muestras de sedimentos del departamento de Nariño (Figura 15-11

Figura 10-13). Un total de 624 observaciones de plaguicidas organoclorados fueron analizados, teniendo como resultado un 50,3% de registros por debajo del límite de detección, un 49% de los valores menores al Límite de Cuantificación (LCM) del método usado por el LABCAM y un 0,6% de valores plaguicidas que fueron detectados, entre los cuales se destacan Organoclorados Totales (OCT) y DDT Total: DDT + metabolitos (DDT + DDD + DDE), con valores de 2,9 ng/g para la estación Frente a ríos en el año 2014 y, Endrin Cetona (P11) y Organoclorados Totales con valores 19,1 ng/g para la estación Río Rosario en el año 2015.

Con respecto a los plaguicidas organofosforados, el 30,9% de los registros analizados marcaron bajo el límite de detección y un 68,6% por debajo del límite de cuantificación del método usado por el LABCAM (Figura 15-11). No obstante, de los doce tipos de plaguicidas analizados, se detectó un registro plaguicida organofosforado correspondiente a Cis-Permetrina (P30), con valor de 18,2 ng/g para la estación Frente a ríos en 2015. Este tipo de plaguicidas se relaciona al control de ectoparásitos en actividades económicas como la ganadería (Negrete et al., 2016).

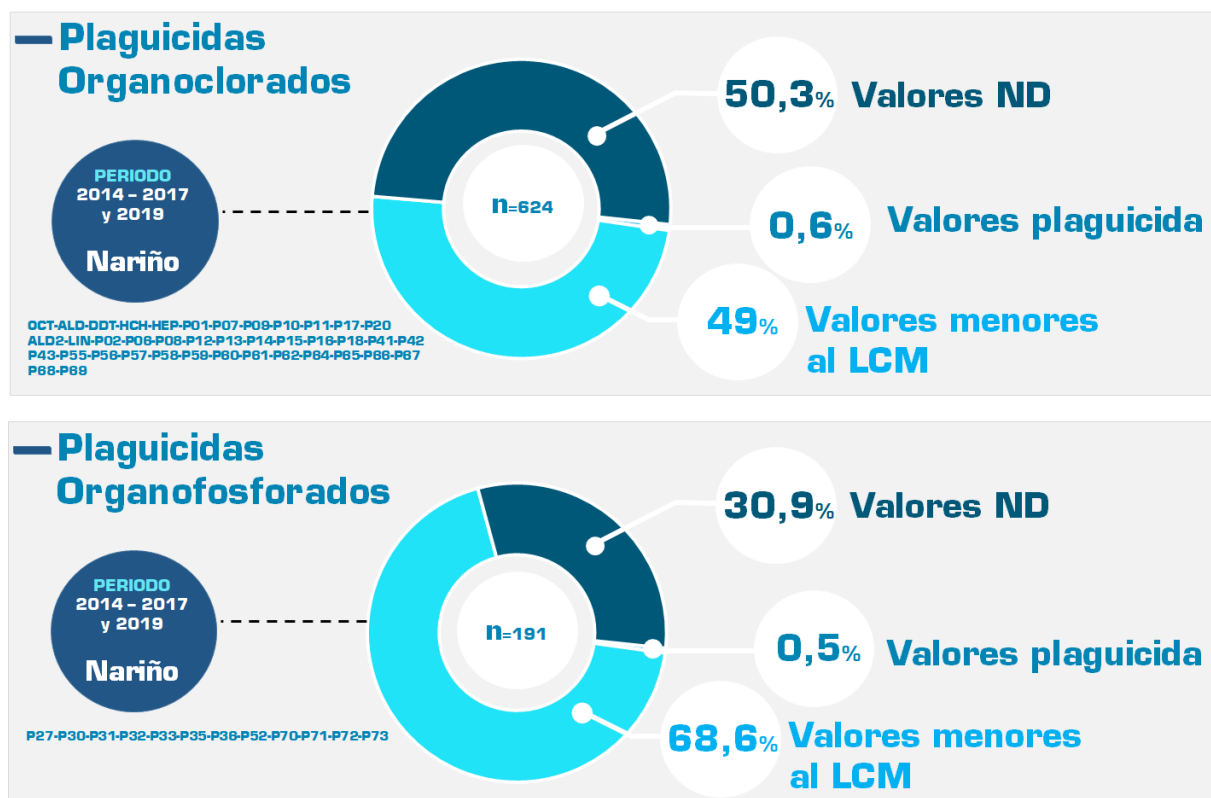


Figura 15-11. Representación histórica de los resultados de plaguicidas organoclorados y organofosforados medidos en sedimento del departamento de Nariño.

15.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ El análisis histórico del ICAM por estaciones, demostró la recurrencia en condiciones inadecuadas para las estaciones Sociedad Portuaria, puente el Pindo, frente a ríos y Arco el Morro, condiciones que se intensifican el incremento de las precipitaciones que favorecen el transporte de residuos líquidos y sólidos que son descargados en la zona marina y costera por las dinámicas hidrológicas las escorrentías y los ríos que desembocan en la Ensenada de Tumaco.
- ❖ La calidad de las aguas superficiales marinas y costeras del departamento de Nariño se ve afectada por la alta carga de Coliformes Termotolerantes que de manera recurrente deterioran de las condiciones para el uso recreativo de las playas como aguas de baño con niveles de incumplimiento superando los criterios de calidad de la legislación colombiana para CTT y CTE, y los lineamientos de la OMS para los EFE, que en especial se incrementan durante las épocas de altas precipitaciones.
- ❖ La presencia de los metales totales Cr, Cu y Ni en el sedimento de la estación Frente a ríos en concentraciones por encima de los valores de referencias para efectos umbral (TEL) propuestos por la NOAA, indican que es importante realizar un estudio más detallado que permita determinar si son condiciones del medio natural o es el efecto de acciones antrópicas.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL DISEÑO MONITOREO DE CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS



Muestreo de agua y sedimentos en Nariño. Foto: Paola Obando.

16. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DISEÑO MONITOREO REDCAM

La Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM), es un programa interinstitucional y una herramienta de gestión que lleva 21 años de operación. La REDCAM es coordinada por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), hacen parte de esta Red las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR) con jurisdicción costera: CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABA, CODECHOCO, CVC, CRC y CORPONARIÑO, que actúan como miembros y nodos líderes en cada departamento, y tiene el soporte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MinAmbiente; además, han participado eventualmente en actividades de la REDCAM algunos centros de investigación, Departamentos técnico administrativos del medio ambiente distritales y Universidades . A través de este sistema de monitoreo se ha venido recolectando información periódica de calidad de aguas y sedimentos marinos-costeros del Caribe y Pacífico Colombiano, con un (1) muestreo puntual por semestre o por año (dependiendo de la frecuencia de muestreo en cada departamento). Esta información se ha venido almacenando en el Sistema de Información REDCAM que es un componente del Sistema de Información Ambiental Marino – SIAM, Subsistema del Sistema de Información Nacional Ambiental para Colombia – SIAC. La información colectada ha servido de soporte técnico para la toma de decisiones en asuntos marinos, por parte de las entidades miembros del Sistema Nacional Ambiental (SINA).

Durante el tiempo de operación de la REDCAM, se han realizado ajustes en la Red de estaciones de algunos departamentos, teniendo en cuenta los requerimientos de control y seguimiento del recurso hídrico, gestión ambiental, prioridades y capacidades técnicas de las CAR costeras. Si bien, estas modificaciones no se han basado necesariamente en una revisión nacional e integral de la actividad de monitoreo, la normatividad vigente y los cambios ambientales, socioculturales y económicos en las zonas costeras, en 2015 se realizó una evaluación integral a escala nacional de toda la red de estaciones, y en 2019 en el marco de convenios de cooperación con CORALINA, CARDIQUE y CORPONARIÑO, se hicieron propuestas de ajuste de monitoreo. En el 2020 a pesar de las restricciones por la emergencia sanitaria por COVID-19, se realizó el muestreo REDCAM en San Andrés Islas y Bolívar con la implementación del diseño de monitoreo ajustado, incorporando nuevas estaciones en dichos departamentos.

Desde el año 2019 en virtud de las acciones de fortalecimiento del programa de monitoreo REDCAM a través de la ficha BPIN Operaciones Estadísticas (Resolución 046 y 304 de 2019; Resolución 43 de 2020 y Resolución 61 de 2021), del BPIN Misional (Resolución 1973 de 2019, Resolución 43 de 2020 y Resolución 61 y 176 de 2021) y de los acuerdos de cooperación técnica con algunas de las Corporaciones con injerencia costera, el INVEMAR dio inicio al proceso de adoptar los lineamientos del DANE bajo la norma técnica NTC PE 1000:2020 en busca de la certificación del índice de calidad de aguas marinas y costeras – ICAM como una estadística nacional reconocida por el DANE. Mantener actualizado el conocimiento sobre la calidad ambiental marina, ha servido de soporte para la protección del medio marino, generando un impacto positivo sobre la gestión de los recursos hídricos marinos y costeros con la aplicación del ICAM, de indicadores de calidad microbiológica y determinación de microplásticos en aguas y arenas de playas y otros ecosistemas marino costeros. A continuación, se presentan los resultados de la evolución del diseño y dinámica de monitoreo REDCAM.

16.1.1 Distribución de estaciones REDCAM

Históricamente el monitoreo REDCAM se ha realizado en un promedio de entre 215 y 350 estaciones, distribuidas en sitios de importancia económica y ambiental, en aguas de tipo marino, estuarino y fluvial (dulce), ubicadas a nivel nacional entre el Caribe y Pacífico. A lo largo del tiempo, el número de estaciones monitoreadas anualmente ha presentado variaciones debido a falta de recursos, problemas para acceder a las zonas de muestreo y durante el 2020 la dificultad para , realizar actividades de monitoreo en algunos departamentos por las medidas de aislamiento decretadas por el gobierno nacional mediante resolución 385 del 2020, para prevenir el contagio y propagación del COVID-19 (MinSalud, 2020), por lo cual en este año se monitoreó el número más bajo de etaciones. En el 2021, el monitoreo REDCAM se realizó en 274 estaciones (Figura 16-1), 196 en el Caribe, distribuidas en la zona marina y costera de los departamentos Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, La Guajira, Magdalena, Bolívar, Córdoba y Antioquia, y 78 en el Pacífico, distribuidas en los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño.

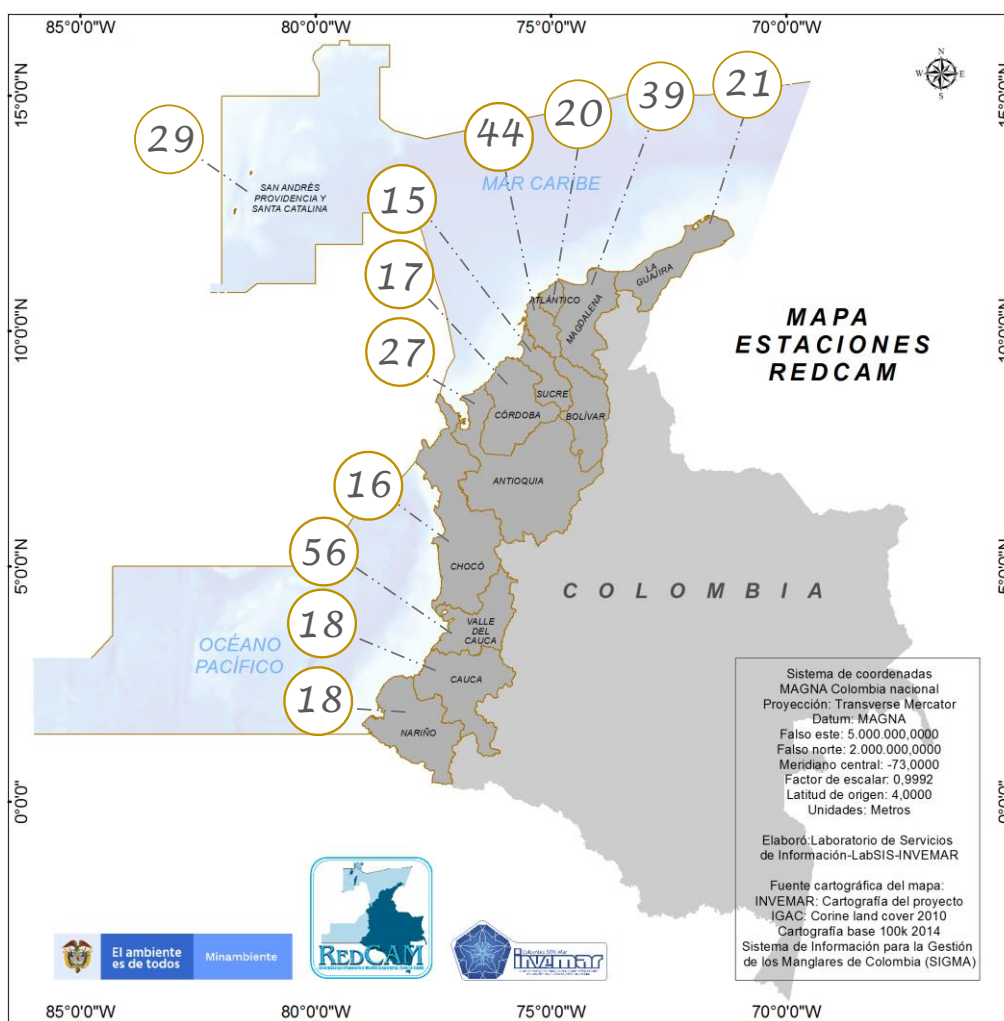


Figura 16-1. Mapa nacional con la cantidad de estaciones REDCAM monitoreadas en 2021 por departamento.

En la Figura 16-2, se muestra la cantidad de estaciones REDCAM monitoreadas semestralmente entre los años 2001 y 2020, por departamento. Para el departamento de San Andrés y Providencia, se pueden observar dos periodos, un primer periodo que va desde 2002-2009, caracterizado por una similitud entre la cantidad de estaciones muestreadas por cada semestre y un segundo periodo entre 2010-2020 con una variación entre la cantidad de estaciones muestreadas en el semestre 1 y semestre 2. A su vez, una discontinuidad en el monitoreo del primer semestre del 2014 y en el segundo semestre del año 2018.

Durante el periodo de estudio se evidenció que la mayor cantidad de estaciones monitoreadas correspondió a las de tipo agua marina, con un número de estaciones que oscilaron entre 84 y 166 (promedio 146 ± 22 estaciones), seguido las de tipo agua estuarina, con un número de que varió entre 82 y 155 (promedio 110 ± 14 estaciones) y finalmente las de tipo agua dulce, las cuales variaron entre 29 y 71 (promedio de 60 ± 8 estaciones).

*Análisis histórico 2001-2021 de la Calidad de las Aguas
Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico colombiano*

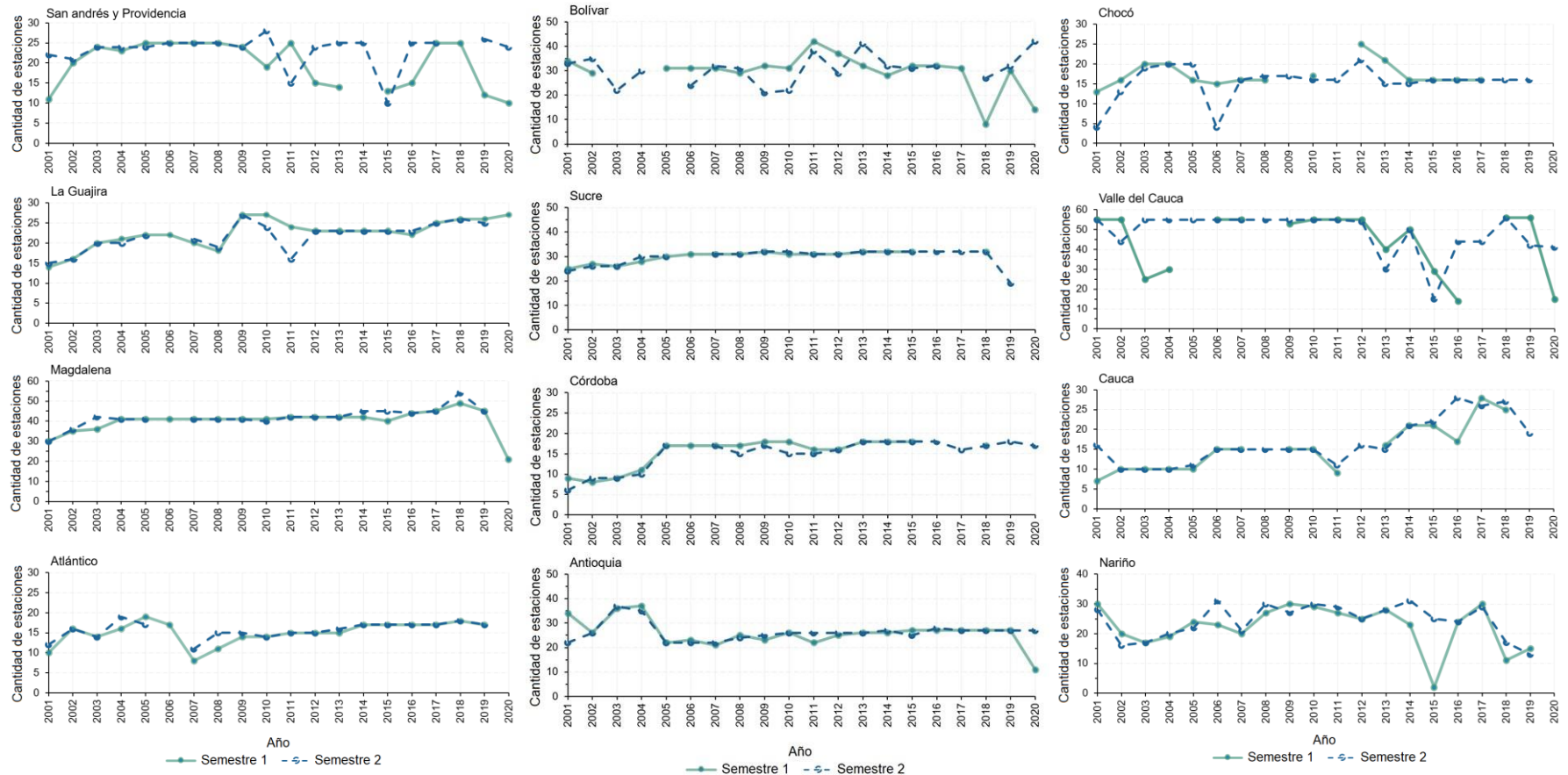


Figura 16-2. Variación histórica semestral, entre 2001 y 2020, de la cantidad de estaciones REDCAM analizadas en los 12 departamentos costeros del Caribe y Pacífico colombiano. La línea verde representa la cantidad de estaciones monitoreadas en el primer semestre y la línea de trazos azul en el segundo semestre.

En la Guajira se evidenció un primer periodo entre 2001-2009 con una similitud en el número de estaciones monitoreadas semestralmente, aunque en 2006 no se monitoreo el segundo semestre; un periodo de dos años (2010 y 2011) con una disminución en la cantidad de estaciones monitoreadas en el segundo semestre; y un periodo entre 2012-2019 sin ningún cambio en el monitoreo, presentando semejanzas en la cantidad de estaciones que son evaluadas semestralmente, a excepción del 2020 (Figura 16-2).

Magdalena a nivel general ha presentado un monitoreo continuo entre semestres. Se evidenció para el periodo analizado una cobertura semestral casi permanente, con aproximadamente 40 estaciones semestrales, salvo el monitoreo de 2006 y 2020 donde no fue posible la recopilación de información durante el segundo semestre (Figura 16-2).

El departamento del Atlántico tuvo un monitoreo estable, entre el año 2010 a 2019, logrando la continuidad en el seguimiento semestral de las estaciones (Figura 16-2). Algo similar ocurrió para el departamento de Sucre, el cual presentó desde 2001 hasta 2015 una frecuencia de muestreo semestral de forma continua, a excepción del año 2006 donde no hubo registro de estaciones monitoreadas para el segundo semestre y, entre 2016 y 2019 no se tienen registros de monitoreo en el primer semestre (Figura 16-2).

Los departamentos Bolívar, Chocó, Valle del Cauca y Nariño presentaron fluctuaciones en el número de estaciones monitoreadas por semestre, en la mayoría de casos con interrupciones en el monitoreo realizado en primer semestre, específicamente en Bolívar para los años 2003 y 2004, Chocó en 2009, 2011, 2018 y 2019, Valle del Cauca en 2005, 2008 y 2017 (Figura 16-2).

Con respecto al análisis realizado para el departamento del Cauca, se evidenció a comienzos de la serie de tiempo una semejanza entre el número de estaciones monitoreadas por semestres hasta el año 2010, con la interrupción del monitoreo en el primer semestre del año 2008. Posteriormente se observa una tendencia al alza de la cantidad de estaciones monitoreadas por semestre, la cual inicia en el año 2012 con una variación entre semestres (Figura 16-2).

16.1.2 Tipo de variables monitoreadas

Desde la creación de la REDCAM, se tuvo en cuenta la presencia de estresores marinos, costeros y continentales, para definir las variables a medir por cada tipo de estación. Debido a la dinámica de financiación del monitoreo, se ha presentado una variación histórica el tipo de variables monitoreadas (físicoquímicas, microbiológicas, hidrocarburos, metales traza y plaguicidas) por estaciones.

Entre 2001 y 2020, en **San Andrés y Providencia**, la cantidad de estaciones monitoreadas en las que se midieron cada uno de los tipos de variables osciló entre 21 y 29 para físicoquímicas y microbiológicas; entre 6 y 16 para hidrocarburos, entre 4 y 12 para metales traza; y entre 5 y 12 para plaguicidas (Figura 16-3). El departamento de San Andrés y Providencia ha presentado un leve crecimiento en los últimos años en la cantidad de estaciones analizadas con variables físicoquímicas, microbiológicas, hidrocarburos, metales traza y plaguicidas, aunque en los años 2008, 2009, 2014, 2015 y 2016, el monitoreo de contaminantes como hidrocarburos, metales traza y plaguicidas fue interrumpido.

En La **Guajira** las estaciones monitoreadas por variables oscilaron entre 15 y 28 para físicoquímicas; entre 10 y 26 para microbiológicas; entre 12 y 23 para hidrocarburos y metales

traza; y entre 12 y 20 para plaguicidas (Figura 16-3). La Guajira presentó un incremento en el número de estaciones monitoreadas desde el año 2009, llegando a tener 28 estaciones con análisis fisicoquímicos, 25 con análisis microbiológicos, 23 con análisis de hidrocarburos y de metales traza y 20 con análisis de plaguicidas.

En el departamento del **Magdalena** se evidenció un periodo de transición a partir de 2007 hasta 2018, donde se registró un incremento en la cantidad de estaciones monitoreadas por tipo de variable. Las estaciones monitoreadas por variables oscilaron entre 21 y 54 para fisicoquímicas; entre 21 y 36 para microbiológicas; entre 16 y 39 para hidrocarburos; entre 8 y 30 para metales traza; y entre 7 y 33 para plaguicidas (Figura 16-3).

Para el departamento del **Atlántico** la cantidad de estaciones monitoreadas por tipo de variable osciló entre 11 y 20 para fisicoquímicas y microbiológicas; entre 4 y 20 para hidrocarburos; entre 3 y 17 para metales traza; y entre 2 y 12 para plaguicidas (Figura 16-3). El departamento de Atlántico ha presentado históricamente un aumento del número de estaciones por tipo de variable, llegando en 2018 al pico más alto con 20 estaciones analizadas con parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e hidrocarburos, 15 estación con análisis de metales traza y 12 con análisis de plaguicidas. En el 2020 no se realizó monitoroe en este departamento.

En **Bolívar** la cantidad de estaciones monitoreadas por tipo de variable osciló entre 22 y 44 para fisicoquímicas; entre 19 y 44 para microbiológicas; entre 7 y 20 para hidrocarburos; entre 9 y 39 para metales traza; y entre 4 y 11 para plaguicidas (Figura 16-3). Cabe señalar que en Bolívar desde el 2004 al 2009 y del 2016 al 2018 no sé monitorearon hidrocarburos ni plaguicidas.

En **Sucre** la cantidad de estaciones monitoreadas por tipo de variable osciló entre 19 y 32 para fisicoquímicas; entre 10 y 23 para microbiológicas; entre 12 y 31 para hidrocarburos; entre 4 y 18 para metales traza; y entre 3 y 18 para plaguicidas (Figura 16-3). Al igual que para Atlántico, en sucre no se monitoroe en el 2020.

En **Córdoba** la cantidad de estaciones monitoreadas por tipo de variable osciló entre 9 y 18 para fisicoquímicas; entre 6 y 17 para microbiológicas; entre 5 y 16 para hidrocarburos; entre 7 y 15 para metales traza; y entre 5 y 17 para plaguicidas (Figura 16-3). En Córdoba se observa un seguimiento permanente de los cinco grupos de variables en aguas superficiales. Los cambios observados se deben al incremento del número de estaciones analizadas por cada grupo de variable. Sin embargo, desde 2014 hasta el 2020 se evidenció una disminución del número de estaciones con mediciones plaguicidas, pasando de 17 a 5 estaciones monitoreadas actualmente.

En **Antioquia** la cantidad de estaciones monitoreadas por tipo de variable osciló entre 22 y 37 para fisicoquímicas, microbiológicas y metales traza; entre 9 y 22 para hidrocarburos; y entre 5 y 28 para plaguicidas (Figura 16-3). En Antioquia se observó que durante 2010 y 2015 no se muestrearon plaguicidas en ninguna estación, y en 2019 y 2020 no se muestrearon hidrocarburos.

En **Chocó** la cantidad de estaciones monitoreadas por tipo de variable osciló entre 13 y 25 para fisicoquímicas; entre 4 y 23 para microbiológicas; entre 10 y 23 para hidrocarburos; entre 4 y 15 para metales traza; y entre 2 y 11 para plaguicidas (Figura 16-3). En Chocó, el pico máximo de estaciones monitoreadas por grupo de variable se registró en el año 2012, observándose en los siguientes años una disminución en el número de estaciones asociadas a cada tipo de variable, llegando así en el 2019 a un total de 16 estaciones con análisis fisicoquímicos,

microbiológicos e hidrocarburos, 9 estación con análisis de metales traza y 5 estaciones con análisis plaguicidas. Se debe agregar que, en el 2020 no se realizó monitoreo.

En **Valle del Cauca** la cantidad de estaciones monitoreadas por tipo de variable osciló entre 29 y 56 para fisicoquímicas y microbiológicas; entre 10 y 40 para hidrocarburos; entre 2 y 10 para metales traza; y entre 9 y 12 para plaguicidas (Figura 16-3). En la mayoría de años, el departamento del Valle del Cauca presentó limitados análisis asociados a metales traza y plaguicidas.

En **Cauca** la cantidad de estaciones monitoreadas por tipo de variable osciló entre 10 y 28 para fisicoquímicas; entre 6 y 18 para microbiológicas; entre 10 y 22 para hidrocarburos; entre 4 y 28 para metales traza; y entre 5 y 17 para plaguicidas (Figura 16-3). En Cauca se evidenció un incremento gradual en la cobertura del monitoreo a partir del año 2012, llegando en 2017 al pico máximo de estaciones monitoreadas por tipo de variable, con un número de 28 sitios analizados con parámetros fisicoquímicos, 17 con parámetros microbiológicos e hidrocarburos, 28 con metales traza y 15 con plaguicidas.

En **Nariño** la cantidad de estaciones monitoreadas por tipo de variable osciló entre 17 y 33 para fisicoquímicas; 2 y 28 para microbiológicas; 4 y 33 para hidrocarburos; 6 y 31 para metales traza; y entre 2 y 32 para plaguicidas (Figura 16-3). En Nariño, entre el 2002 y el 2005 hubo una disminución del número de estaciones monitoreadas. A partir del 2006 se observó un incremento en la cantidad de estaciones analizadas por tipo de variable, con el mayor pico en 2013 con un total de 30 estaciones con monitoreo fisicoquímicos, 23 estaciones con monitoreo microbiológicos, 29 estaciones con monitoreo de hidrocarburos, 22 estaciones con monitoreo metales traza y finalmente 21 estaciones con monitoreo plaguicidas. A lo largo del tiempo Nariño presentó la menor cantidad de estaciones monitoreadas con variables microbiológicas, hidrocarburos, metales traza y plaguicidas en el año 2018.

Análisis histórico 2001-2021 de la Calidad de las Aguas
Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico colombianos

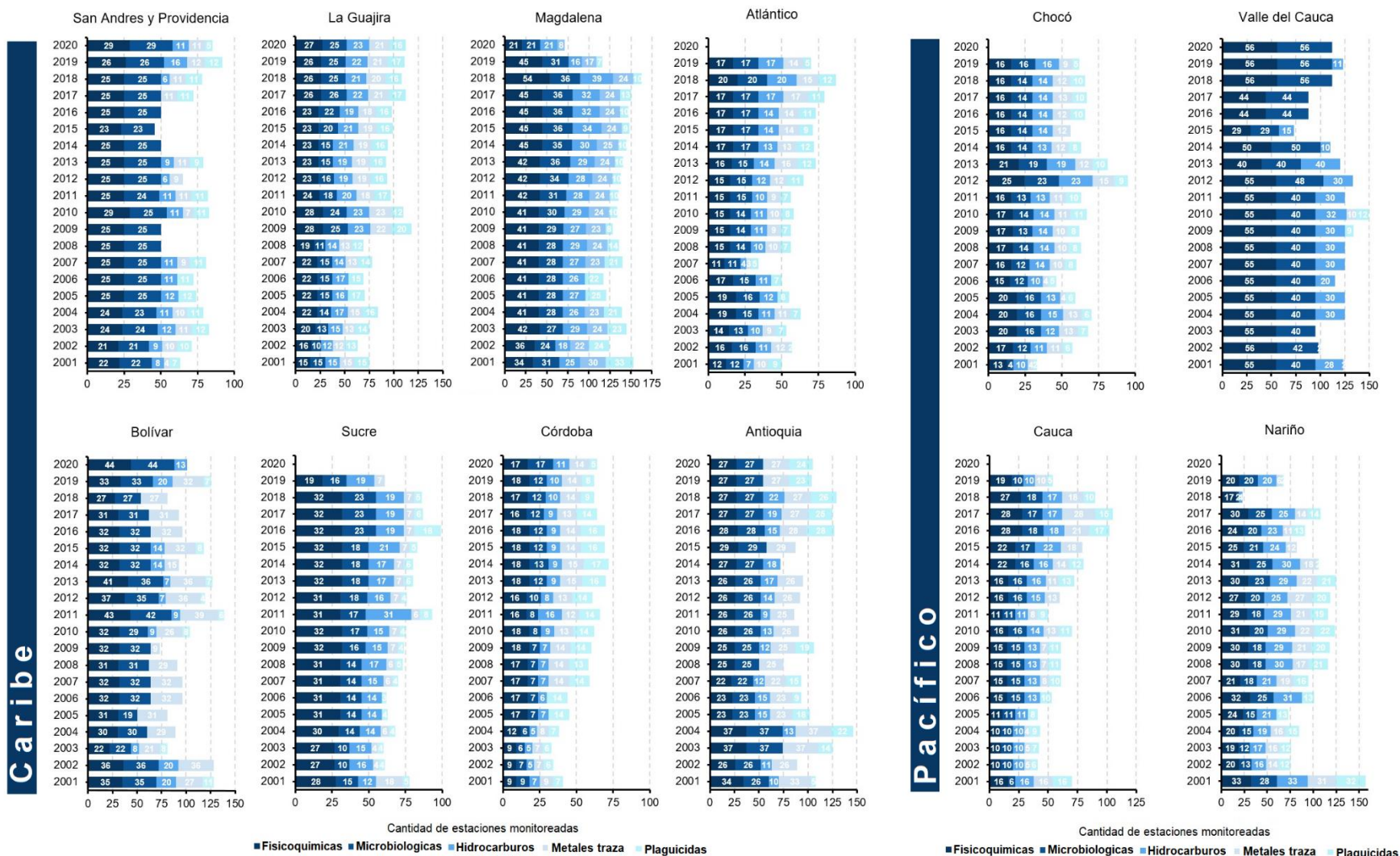


Figura 16-3. Número de estaciones del tipo de variables evaluadas en el monitoreo de calidad de aguas marino costeras en los 12 departamentos costeros del Caribe y Pacífico colombiano entre el periodo 2001 y 2020.

Durante la última década (2010 y el 2017) entre el 75% y 99% de las estaciones, tanto en la región Caribe como en el Pacífico, las concentraciones de plaguicidas organoclorados y organofosforados estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método usado (<LCM) o en valores no detectados (ND) (Figura 16-4). En los últimos cinco años, el 100% de las observaciones estuvieron por debajo del LCM y como valores ND.

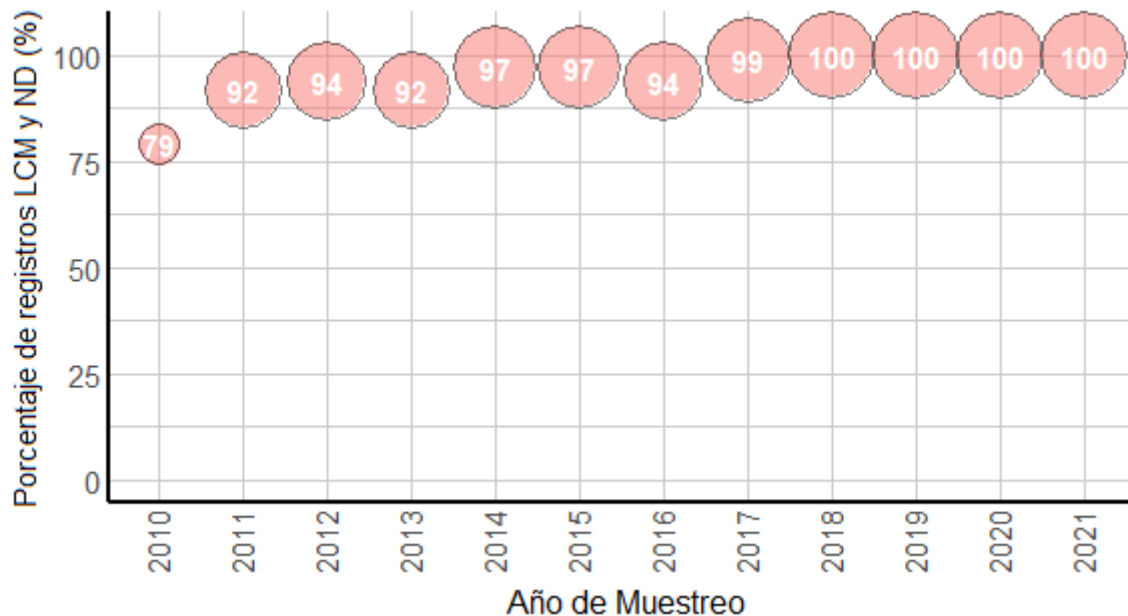


Figura 16-4. Porcentaje de registros plaguicidas por debajo del límite de cuantificación (< LCM) y No Detectados (ND), evidenciados durante el periodo 2010 a 2021, en las estaciones de calidad de aguas REDCAM del Caribe y Pacífico.

16.1.3 Tipos de variables medidas en sedimentos

El monitoreo de calidad de sedimentos marinos y costeros de la REDCAM inició en el 2014, con un total de 28 puntos de muestreo entre el Caribe y Pacífico colombiano. A partir de este año se evidencia una tendencia de aumento en el número de estaciones monitoreadas a nivel nacional, llegando en 2018 a un total de 91 estaciones distribuidas en los diferentes departamentos excluyendo el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Entre 2019 y 2020, el número de estaciones disminuyó a la mitad (Figura 16-5).

En el periodo 2014-2020, la mayor cantidad de estaciones correspondieron a sustrato de tipo agua estuarina, con un número de sitios muestreados que osciló entre 15 y 36 (Promedio 23 ± 9 estaciones), seguido del sustrato de tipo agua dulce con un número de sitios muestreados que osciló entre 8 y 31 (promedio de 19 ± 9 estaciones) y finalmente el sustrato de tipo agua marina con un número entre 4 y 24 (promedio de 13 ± 8 estaciones) (Figura 16-5).

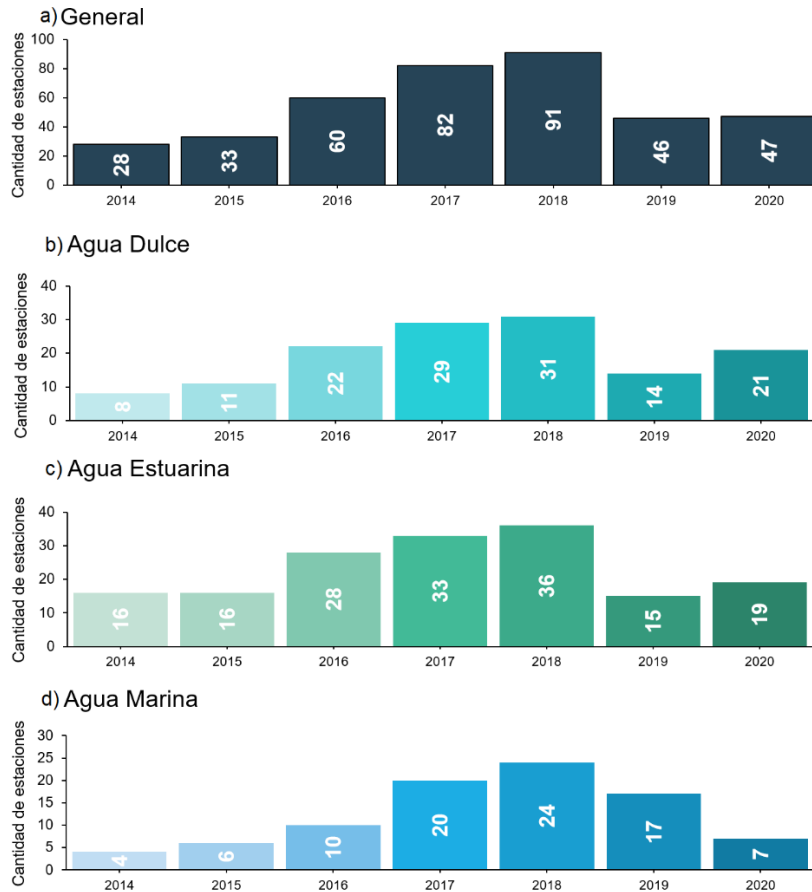


Figura 16-5. Variación temporal del número de estaciones REDCAM a nivel nacional donde se han realizado mediciones en sedimentos entre 2001 y 2020. a) Número total de estaciones monitoreadas a nivel nacional; b) Número de estaciones de agua dulce monitoreadas; c) Número de estaciones de agua estuarina monitoreadas; d) Número de estaciones marinas monitoreadas.

Desde 2014 la REDCAM ha recolectado muestras de sedimento para medir parámetros fisicoquímicos, granulometría, hidrocarburos del petróleo, metales pesados y plaguicidas (Figura 16-6), sin embargo, la cantidad de estaciones monitoreadas por departamento es escasa. En los departamentos de San Andrés y Providencia, Bolívar, Sucre, Chocó y Nariño hay un bajo número de estaciones de monitoreo de calidad de sedimentos. En Antioquia y Valle del Cauca, si bien existe un número considerable de estaciones con monitoreo de calidad de sedimentos, en estos solo analizan hidrocarburos y metales pesados. En los departamentos de Magdalena, Atlántico y Cauca, entre 2017 y 2018 muestrearon un gran número de estaciones para monitorear las variables de calidad de sedimentos, sin embargo, estos números no han sido constantes en el tiempo, dando como resultado dificultades para evaluar de forma indicativa el comportamiento anual de los contaminantes.

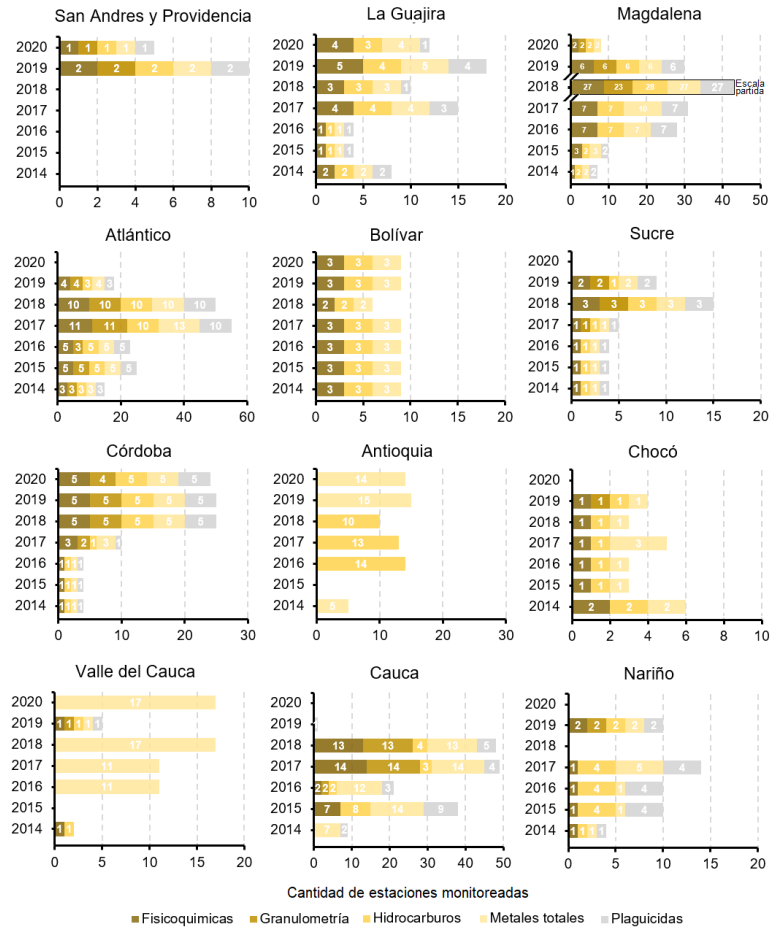


Figura 16-6. Cantidad de estaciones monitoreadas por tipo de variables en calidad de sedimentos marinos costeros, entre el periodo 2014 y 2020.

16.1.4 Conclusiones y recomendaciones

- ❖ Los resultados de los últimos 10 años de mediciones de plaguicidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM han mostrado que estos contaminantes no están afectando la calidad del agua, ya que las concentraciones registradas menores al límite de cuantificación del método analítico o no son detectadas. En los sedimentos de algunos departamentos se han encontrado de estos contaminantes, debido a la afinidad que tienen por la materia orgánica y los granos finos. Con el fin de robustecer el sistema de monitoreo, se debe realizar un inventario de los plaguicidas de uso actual y definir nuevas mediciones por matriz agua y sedimentos.
- ❖ Se recomienda realizar mínimo dos muestreos anuales, uno en el periodo de altas precipitaciones y otro en el de sequía o bajas precipitaciones, con énfasis en las estaciones de la REDCAM seleccionados para el cálculo del ICAM y el seguimiento a la correspondiente a la agenda ODS 2030.
- ❖ Se debe continuar el proceso de fortalecimiento del sistema de monitoreo REDCAM, con la determinación de niveles de basura marina y microplásticos, análisis integrados con imágenes de satélite, análisis geográficos de los estresores promovidos por la presencia y acción de las fuentes terrestres de contaminación marina.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Coley, I., Duran-Izquierdo, M., Rodríguez-Cavallo, E., Mercado-Camargo, J., Méndez-Cuadro, D., Olivero-Verbel, J., 2019. Cuantificación de microplásticos a lo largo de la costa caribeña de Colombia: perfil de contaminación y efectos biológicos en *Caenorhabditis elegans*. *Mar. Pollut. Toro.* 146, 574–583 p. <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.
- 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.
- 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.
- 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. <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/water-quality-toxicants/toxicants/mercury-2000> (consultado 202/12/2021).
- 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 rd ed. Washington. 1400 p.
- APHA., AWWA y WEF. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. United States of America. 1325 p.
- Ávila, 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.
- 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.
- Buchman M. 2008. Screening Quick Reference Tables (SQiRTs). NOAA OR&R report 08-1 Seattle WA, office of response and restoration division, national oceanic and atmospheric administration. 34 p.

- Calva Benítez, L. G., A. Pérez Rojas y A. Z. Márquez García. 2006. Contenido de carbono orgánico y características texturales de los sedimentos del sistema costero lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas. *Hidrobiológica*, 16(2), 127-135.
- 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. *Bol. Cient. CIOH* 2015; 33:195-214.
- 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.tab=0.
- 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).
- 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.
- 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.
- CORPOURABA. 2018. DIAGNÓSTICO SANITARIO Y DE CALIDAD DEL RÍO VOLCÁN, MUNICIPIO DE ARBOLETES (ANTIOQUIA).
- 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-por-tema/demografia-y-poblacion> (con acceso el 01/02/2018).
- 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>
- DNP. 2020. Colombia potencia bioceánica sostenible 2020. Consejo nacional de política Económica y Social – CONPES 3990. Documento CONPES 3930. 91p. Bogotá. D.C.
- 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
- 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. 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.

- 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. *Química 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
- Fundación Natura e INVEMAR. 2019. Servicios ecosistémicos marinos y costeros de Colombia. Énfasis en manglares y pastos marinos. Santa Marta. 34p.
- Garay, J., G. Ramirez; J. Betancourt, B. Marín, B. Cadavid, L. Panizzo, J. Lesmes, H. Sánchez y A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR. Serie Documentos Generales N° 13. Santa Marta. 177 p.
- Garcés-Ordóñez O., Espinosa L., Pereira R., Issa B., Meigikos R., 2020b. Plastic litter pollution along sandy beaches in the Caribbean and Pacific coast of Colombia. *Environ Pollut*, 267: 115495. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115495>
- Garcés-Ordóñez, O., Espinosa L, Pereira R., Muniz M., 2020. 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, Pereira R., Muniz M., 2020a. Impact of tourism activity on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 160: 111558. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111558>
- Garcés-Ordóñez, O., Espinosa L., Pereira R., Muniz M., 2020. 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., 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.
- GGWeather. 2018. El Niño and La Niña Years and Intensities. Golden Gate Weather Services. <https://ggweather.com/enso/oni.htm>
- 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 Inveemar 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 Bahía Solano and Nuquí along the Pacific coast of Chocó, Colombia: A baseline study. *Marine pollution bulletin*, 135, 1-8.
- 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, 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.
- 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. 2016a. Anuario Climatológico año 2015. Bogotá. 365 p.
- IDEAM. 2016b. 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 climática “El Niño” y “La Niña”. Boletín Número 113. Bogotá D.C. 7p.
- IDEAM. 2019. Boletín Climatológico Mensual. Octubre de 2019. Bogotá D.C. 9pp
- IDEAM. 2019. Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Ideam: 452 pp
- IDEAM. 2019. Servicio merográfico, pronóstico de pleamares y bajamares en la costa Pacífica colombiana. Bogotá D.C. 136p.
- IDEAM. 2020. 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. 2020a. Boletín Climatológico Mensual. Agosto de 2020. Bogotá D.C. 8pp
- IDEAM. 2020b. Boletín Climatológico Mensual. Septiembre de 2020. Bogotá D.C. 8pp
- IDEAM. 2021. Plataforma del Atlas climatológico de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

- IDEAM. 2021. 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., IGAC, IAvH, Invepar, Sinchi e IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Bogotá, D. C, 276 p. + 36 hojas cartográficas.
- IGAC. 1990. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. IGAC. Bogotá. 499 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. Echeverry 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. 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. 2017b. 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. 2019. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2018. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 200 p.
- INVEMAR. 2020. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico Colombiano. Santa Marta: INVEMAR.

- INVEMAR. 2020. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 183 p.
- INVEMAR., 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.
- Knox, G.A. 2001. The ecology of seashore. CRC Press. Boca Raton. 557 p.
- Lazala, M. y L. N. Parra. 2010. Geología estructural y Geomorfología. Pp. 15 - 21. En: J.O. Rangel-Ch. (ed). Colombia diversidad biótica IX. Ciénagas de Córdoba: biodiversidad, ecología y manejo ambiental: Corporación Autónoma Regional de los valles del Sinú y del San Jorge-CVS, Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá, Colombia.
- 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. y J. G. Vásquez. 2005. Hidrodinámica y distribución de coniformes 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. 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.
- 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](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 jurisdicción 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.
- MS - Organización Mundial de la Salud. 2003. Directrices para ambientes de aguas recreativas seguras. Costa y aguas frescas. Vol. 1. Ginebra. 219 p.
- Negrete, J. L. M., J. G. Ortega-Ruíz, A. E. N. Frómata, 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.
- 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/>
- 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.
- 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 Santiaguino, ág-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.
- 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.
- 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.
- 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.
- R Core Team. 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- 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.
- Ricaurte-Villota, C. y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.). 2017. Regionalización oceanográfica: una visibilización región Caribe. Serie de Publicaciones Especiales No. 14 de INVEMAR, 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.

- 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.
- 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).
- Solano, B. 2012. Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias. Bahía Solano-Chocó.
- Strickland J y T. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Board of Canada. Segunda Edición. Ottawa. 328 p.
- Sunderland, D., T. Graczyk, I. Tamang y P. Breyse. 2007. Impact of bathers on levels of *Cryptosporidium parvum* oocysts and *Giardia lamblia* cyst in recreational beach waters. *Water Research* 41: 3483 – 3489.
- 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.
- Toro, V., W. Mosquera, N. Barrientos y Y. Bedoya. 2019. Circulación oceánica del golfo de Urabá usando campos de viento de alta resolución temporal. *Bol. Cient. 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.
- Vargas O., G. Prieto, L. M. González y A. Matamoros. 2004. Geoquímica de metales pesados en suelos de la cuenca del Río Bogotá. Geología Básica.
- Velásquez Montoya, L. 2013. Modelación del transporte de sedimentos en el golfo de Uraba, Colombia (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT).
- Vivas Aguas, L.J., M. Vargas Morales, K. Guiñen Oñate, M. Villarraga y D. C. Sánchez Rodríguez. 2014. Vulnerabilidad de la población costera frente a la contaminación orgánica y microbiológica en la bahía de Buenaventura.
- 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., M. Tomic, 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., J. Sánchez., B. Cadavid., J. Betancourt, M. Quintero., Y. Moreno., C. Santana., I. Cuadrado., K. Ibarra., M. Ríos., P. Obando y D. Sánchez. 2014. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones No. 4. Informe Técnico REDCAM 2013, INVEMAR, Santa Marta. 314 p.
- Vivas-Aguas, L.J., K. Ibarra, J. Sánchez, M. Martínez, Y. Nieto, Y. Moreno, I. Cuadrado, P. Obando, O. Garcés-Ordóñez, D. Sánchez, M. Villarraga y O. Sierra. 2015. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones del Invemar No. 4 (2015). Informe Técnico REDCAM 2014, INVEMAR, Santa Marta. 320 p.
- Vivas-Aguas, L.J., M. Tomic, 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., 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.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.
- 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. *Environ. Toxicol. Chem.* 35 (7), 1632–1640 p. <https://doi.org/10.1002/etc.3432>.
- 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>.
- Zambrana, B. G. M. 2000. Estado de los estuarios y lagunas costeras en Colombia año 2000.
- Zanardi, E., M. Caruso-Bícego y R. Weber. 1999. Dissolved/ dispersed petroleum aromatic hydrocarbons in the São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil. *Marine Pollution Bulletin.* 38(5): 410-413.