



invemar

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

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



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

Informe Técnico

2017



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

Informe Técnico 2017



Santa Marta, mayo de 2018

DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS EN EL CARIBE Y PACÍFICO COLOMBIANOS

INFORME TÉCNICO 2017

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, MAYO DE 2018



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

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 INVEMAR

LUISA F. ESPINOSA DÍAZ

Coordinadora del Programa CAM y de la REDCAM

MÓNICA R. BAYONA ARENAS

Jefe de Línea Evaluación y seguimiento de la Calidad Ambiental (ESC) – Responsable de la REDCAM

LIZBETH J. VIVAS AGUAS

Jefe de Línea Prevención y Protección de Ecosistemas Marinos y Costeros (PEM)

CESAR A. BERNAL

Jefe de Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina

OSTIN GARCÉS-ORDÓÑEZ

Investigador científico de la Línea ESC

PAOLA S. OBANDO MADERA

Investigadora científica de la Línea ESC

VICTORIA A. CASTILLO OLAYA

Investigador científico de la Línea ESC

RAMIRO EDUARDO RUEDA BERNAL

Investigador científico de la Línea ESC

Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM):

Leydy Alarcón, Yoselin Nieto, Tania Córdoba, Alex Contreras, Johan Muñoz, Alba López, Olga Díaz, José Vega, Halbin Serrano, Gustavo Lara, Josimar Barranco, Paula Domínguez, Edinson Orozco y Kelvin Varela.

Laboratorio de Servicios de Información (LABSIS):

Juan Manuel Rodríguez, Daniel Gonzalez, Lina Paola Vásquez Prieto, Carlos Oliveros, Leonardo Arias.

Estudiantes:

Jennifer López – Pasante Ingeniería Ambiental
Daniel Fawcett – Pasante Ingeniería Ambiental y Sanitaria

NODOS, ENTIDADES PARTICIPANTES Y COLABORADORES

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - MADS

Andrea Ramírez y Martha Arteaga

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

Erick Castro, Nacor Bolaños, Tomas Guerrero y Cindy Fortune

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LA GUAJIRA – CORPOGUAJIRA

Jaiker Gómez y Lianis Charry

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL MAGDALENA – CORPAMAG

Alfredo Martínez y Eliana Álvarez

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

Emilio Zapata y Efraim Leal

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE – CARDIQUE

Mady García e Idelfonso Castro

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SUCRE - CARSUCRE

Tulio Ruíz Álvarez

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

Rafael Espinosa, Albeiro Arrieta y María Sánchez

CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE URABÁ-CORPOURABÁ

Jairo Vásquez, Diana Cuervo y Kelis Hinestroza

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL CHOCÓ – CODECHOCÓ

Yoileth Iburguen, Alexis Castro y Danny Palomeque

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA - CVC

Luisa Baena Álvarez

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA -CRC

Luz Prieto y Julio Rodríguez

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO – CORPONARIÑO

Marcela Caviedes, Gerardo Artega y Maria Folleco

Citar informe completo como:

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

Citar capítulo como:

Autores. 2018. Título. Intervalo de páginas. En: 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.

ISSN versión impresa: 2357-6332

ISSN versión digital: 2389-8615

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
ÁREA DE ESTUDIO.....	2
METODOLOGÍA	3
1. FUENTES DE CONTAMINACIÓN AL MAR	10
2. DIAGNÓSTICO NACIONAL Y REGIONAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS	62
3. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA	70
4. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA	88
5. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA	112
6. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO	135
7. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR.....	155
8. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE SUCRE	174
9. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.....	193
10. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.....	209
11. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE CHOCÓ.....	228
12. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA.....	245
13. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL CAUCA.....	262
14. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE NARIÑO	279
15. AVANCES ESTRATEGIAS DE FORTALECIMIENTO DE LA REDCAM	302
BIBLIOGRAFÍA.....	313
ANEXOS.....	333

INTRODUCCIÓN

Con el propósito de contribuir con las bases científicas sobre la calidad ambiental marino costera de Colombia, para la formulación de planes y programas que posibiliten el manejo integrado del recurso hídrico y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales asociados, para garantizar la calidad de vida de los colombianos, la **Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (REDCAM)**, ha venido monitoreando la calidad del agua marino costera del Caribe y Pacífico colombiano ininterrumpidamente desde el año 2001 hasta la actualidad.

La REDCAM es una red de cooperación interinstitucional, coordinada por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), con la participan las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR) con jurisdicción costera e insular y con el patrocinio del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). En sus 17 años de funcionamiento, se han realizado acuerdos para aunar esfuerzos que han permitido vigilar de forma permanente la calidad ambiental marina en ~350 estaciones de monitoreo.

En la actualidad se cuenta con 17 informes técnicos con el diagnóstico actualizado de la calidad de las aguas marinas y costeras a nivel nacional. En el marco de la REDCAM, se han identificado y caracterizado las fuentes antropogénicas de contaminación marina; se han realizado 14 cursos en temas de calidad ambiental marina, capacitando más de 400 profesionales; y se ha brindado asesorías a las entidades del Sistema Ambiental Nacional (SINA) en todo lo relacionado con la calidad ambiental marina. Adicionalmente, con los datos del monitoreo se construyó un Sistema de Información, con acceso a las entidades del SINA y al público en general, el cual está en permanente actualización.

La REDCAM ha sido meritoria de diferentes distinciones, reconocimientos y premios, tales como la Distinción del Mono Hernandez al mérito Ambiental (2002), reconocimiento como Caso Exitoso de Investigación periodo 1990-2005 (2005) y premio nacional de Alta Gerencia (2009), entre otros, y ha logrado consolidarse como un instrumento que soporta la gestión de las autoridades ambientales con jurisdicción marino costera de Colombia.

En el presente informe técnico, se presenta el diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y el Pacífico colombianos, con los resultados de los muestreos realizados en el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017. El diagnóstico incluye variables fisicoquímicas, microbiológicas, contaminantes orgánicos (plaguicidas e hidrocarburos del petróleo) e inorgánicos (metales pesados) en sitios de interés ambiental, presentados en un contexto nacional, regional y departamental. Además, se muestran los resultados de contaminantes en sedimentos marinos en algunas estaciones, como complemento al monitoreo.

El informe incluye además el inventario nacional de Fuentes de Contaminación al Mar Caribe y al Océano Pacífico colombianos, con el caso estudio del departamento de Chocó, y las actividades de fortalecimiento técnico y del sistema de información de la REDCAM.

ÁREA DE ESTUDIO

Durante el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017, se monitorearon en total 338 estaciones de agua superficial, en 47 de las cuales, se tomaron muestras de sedimento para complementar el diagnóstico (Figura 1.1). Estas estaciones se encuentran en sitios de importancia económica y ambiental, como golfos, bahías, lagunas costeras, ciénagas, playas, cuencas bajas de los principales ríos que drenan al mar Caribe y al océano Pacífico, y frentes de estos ríos. En el Caribe se tienen 220 estaciones distribuidas en la zona costera de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia y el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. En el Pacífico 118 estaciones distribuidas entre los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño (Figura 1.1).

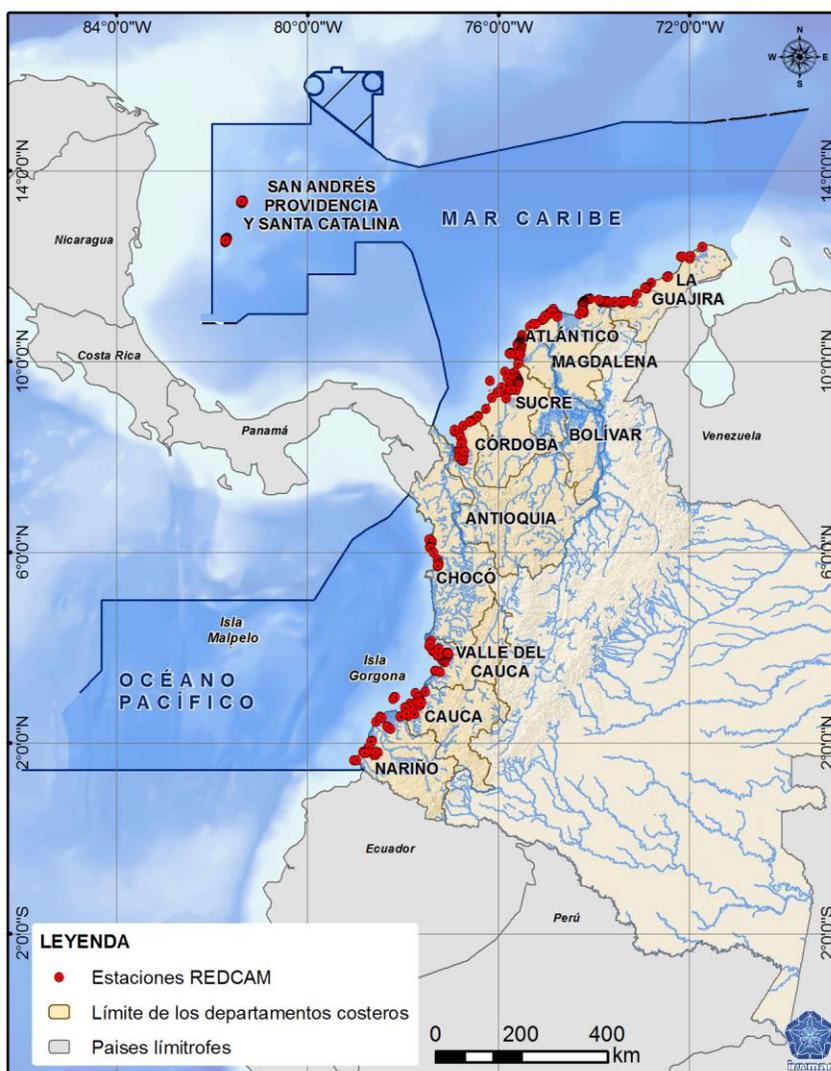


Figura 1.1. Mapa donde se muestra la red de estaciones de monitoreo (puntos de color rojo) de la REDCAM en las costas del Caribe y Pacífico colombianos.

METODOLOGÍA

FASE DE CAMPO

Los muestreos se realizaron entre junio y noviembre de 2016 y entre febrero y julio de 2017. En los departamentos de Magdalena, Atlántico, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño, los muestreos fueron realizados por el personal del INVEMAR, con el apoyo de las respectivas CAR. En La Guajira, la Corporación Autónoma Regional de La Guajira (CORPOGUAJIRA) se encargó de tomar los datos *in situ*. Los muestreos en San Andrés, Bolívar, Antioquia y Valle del Cauca fueron realizados por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORALINA), la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (CARDIQUE), la Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá (CORPOURABÁ) y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) respectivamente, quienes cuentan con laboratorios con capacidad técnica para hacer el monitoreo de manera autónoma.

En todas las estaciones de muestreo se midieron *in situ* temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, usando equipos portátiles previamente calibrados (Figura 1.2a) y se recolectaron muestras de agua (Figura 1.2b y c) para analizar en el laboratorio las variables fisicoquímicas, microbiológicas, contaminantes orgánicos (hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno, y plaguicidas organoclorados y organofosforados) y metales pesados disueltos. Adicionalmente, se tomaron muestras de sedimentos (Figura 1.2d) en algunas estaciones para medir materia orgánica, hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno, plaguicidas organoclorados y organofosforados, y metales pesados totales.



Figura 1.2. Salida de campo REDCAM. Medición de parámetros *in situ* (a) y recolección de muestras de agua (b y c) y de sedimentos (d), fotos: INVEMAR.

FASE DE LABORATORIO

CORALINA, CARDIQUE, CORPOURABÁ y CVC realizaron los análisis de las muestras colectadas en las estaciones de sus departamentos, teniendo en cuenta los procedimientos internos de sus laboratorios.

Las variables coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) del agua superficial de La Guajira, son medidas por el Laboratorio Ambiental de CORPOGUAJIRA.

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 La Guajira, Magdalena, Atlántico, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño, siguiendo metodologías estandarizadas, las cuales se describen en la Tabla 1.1 y en el Anexo 1.

Tabla 1.1. Parámetros y metodologías utilizadas en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR para las muestras de la REDCAM.

Parámetro	Métodos de Análisis
Matriz agua	
Salinidad (Unidad)	Medición electrométrica de la conductividad con electrodo acoplado a sonda (Standard Methods 2520-B, APHA et al., 2012).
Temperatura (°C)	Medición electrométrica con termocupla acoplada a sonda portátil (Standard Methods 4500-HB, APHA et al., 2012).
pH (Unidades)	Medición potenciométrica con sonda portátil (Standard Methods 4500-H B; APHA et al., 2012).
Oxígeno disuelto (mg/L)	Medición en campo con electrodo de membrana (Standard Methods 4500-O G; APHA et al., 2012).
Demanda bioquímica de Oxígeno - DBO (mg/L)	Incubación sin dilución durante 5 días a 20 °C (Standard Methods N° 5210 B; APHA et al., 2012).
Sólidos suspendidos totales - SST (mg/L)	Filtración en membrana de fibra de vidrio, secado 103-105°C y gravimetría (Standard Methods N° 2540-D, APHA et al., 2012).
Nitritos N-NO ₂ ⁻ (µg/L)	Método colorimétrico de la sulfanilamida (Garay et al., 2003).
Nitratos N-NO ₃ ⁻ (µg/L)	Método colorimétrico basado en la reducción con cadmio y reacción por sulfanilamida (Garay et al., 2003).
Amonio N-NH ₄ ⁺ (µg/L)	Método colorimétrico del azul de indofenol (Garay et al., 2003).
Ortofosfatos P-PO ₄ ⁻³ (µg/L)	Método colorimétrico del ácido ascórbico (Garay et al., 2003).
Coliformes totales - CTT (NMP/100mL)	Fermentación en tubos múltiples método de números más probable (Standard Methods 9221-B; APHA et al., 2012).
Coliformes termotolerantes - CTE (NMP/100mL)	Fermentación en tubos múltiples método de número más probable (Standard Methods 9221-E, APHA et al., 2012).
Enterococos fecales - EFE (UFC/100mL)	Filtración por membrana (Standard Methods N° 9230 C, APHA et al., 2012).
Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno - HPDD (µg/L)	Extracción líquido-líquido con diclorometano y cuantificación fluorométrica (UNESCO, 1984 ; Garay et al., 2003).
Plaguicidas* (ng/L)	Extracción líquido – líquido con diclorometano y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM (PNUMA, 2008).
Metales disueltos: plomo, cadmio, cobre, zinc, níquel y hierro (µg/L)	Extracción APDC-MIBK-HNO ₃ 1N y cuantificación por absorción atómica con llama (Standard Methods N° 3111-C, APHA et al., 2012 , Garay et al., 2003).

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

Parámetro	Métodos de Análisis
Sedimento	
Materia Orgánica – MO (mg/g) en peso seco	Digestión en frío con dicromato de potasio, método de Walkley y Black (IGAC, 1990).
Hidrocarburos aromáticos policíclicos-HAP** (µg/g) en peso seco	Extracción soxhlet con diclorometano-acetona (1:1) (The SW-846 Compendium N° 3540C, EPA, 1996). Cuantificación por cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (The SW-846 Compendium N° 8270D, EPA, 2014).
Plaguicidas * (ng/g) en peso seco	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica-alúmina y cuantificación por GC-MSD modo SIM (UNEP et al., 1992).
Metales totales: plomo, cadmio, cromo, cobre, zinc, níquel, hierro y mercurio (µg/L) en peso seco	Digestión asistida por microondas (Método EPA 3052, 1996) y cuantificación por espectrometría de absorción atómica con llama (Standard Methods N° 3500, APHA et al., 2012) y Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica (EPA, 2007).

***Plaguicidas medidos:** aldrin, dieldrin, endrin, endrin aldehído, endrin cetona, ppDDT, ppDDD, ppDDE, α , β , γ y δ HCH, heptacloro, heptacloro epóxido, α y γ clordano, endosulfán I y II, endosulfan sulfato, metoxicloro, dichlorvos, mevinphos, ethoprop, sulfotep, phorate, dimethoate, diazinon, clorotalonil, ronnel, parathion, metilparation, bromacil, malation, fenthion clorpirifós, trichloronate, 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.

SISTEMA DE SOPORTE (BASE DE DATOS)

La información de los monitoreos de la calidad de las aguas y sedimentos marino-costeros realizados por los 12 nodos REDCAM en los departamentos costeros del país, fue estandarizada para actualizar la base de datos, la cual tuvo un proceso de migración de la información histórica al nuevo esquema REDCAM soportado por el sistema multitématico ARGOS. Los datos cargados al sistema REDCAM pueden ser consultados por los funcionarios de las entidades que hacen parte del programa y por el público en general a través del enlace <http://siam.invemar.org.co/redcam> o desde la página principal del INVEMAR (Figura 1.3) Además, la platafotrma cuenta con los módulos estadística, variables monitoreadas, indicadores y Geovisor, disponibles permanentemente de forma online (Figura 1.4).

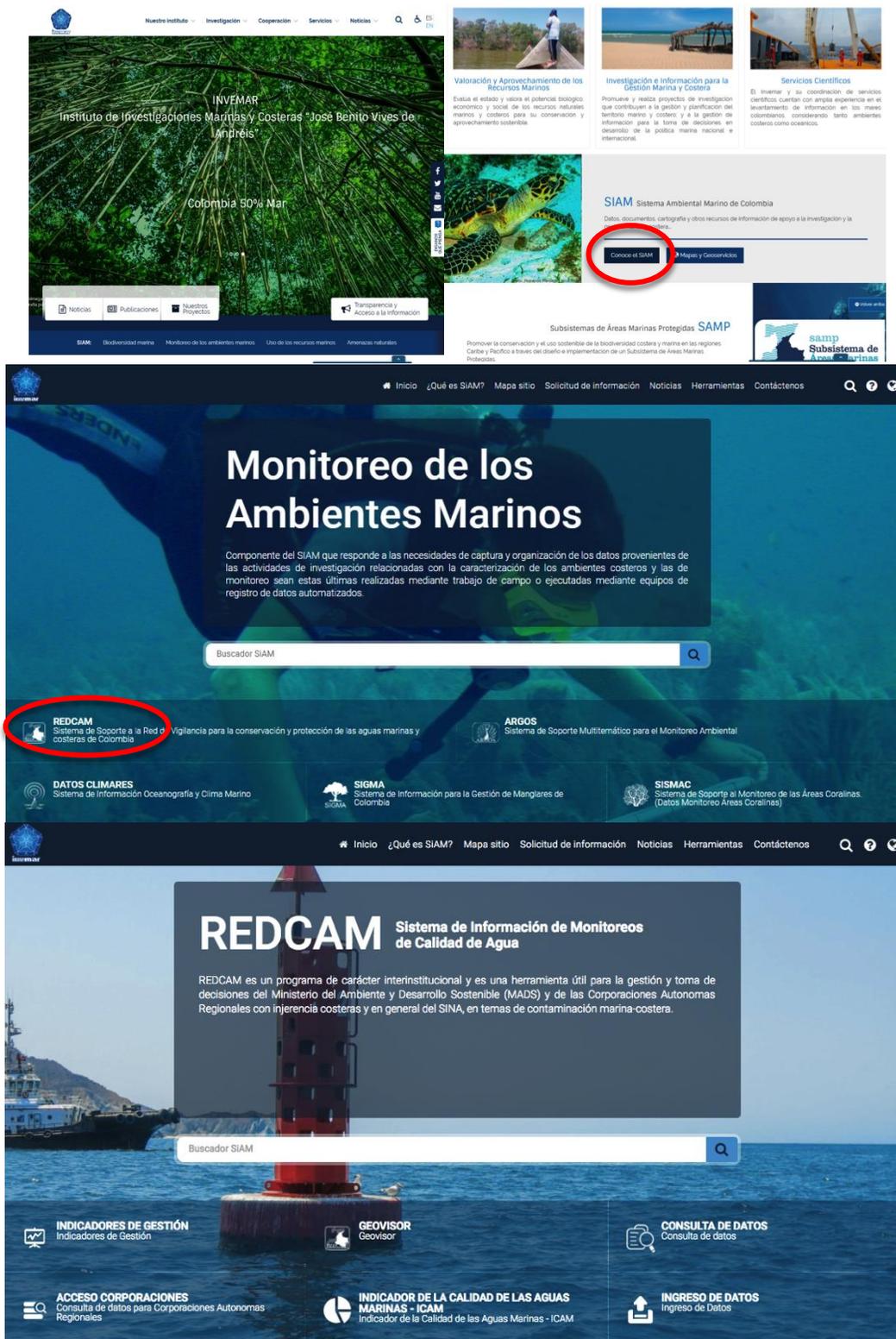


Figura 1.3. Ingreso al sistema de información Ambiental Marina – SIAM en el portal de INVEMAR.

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

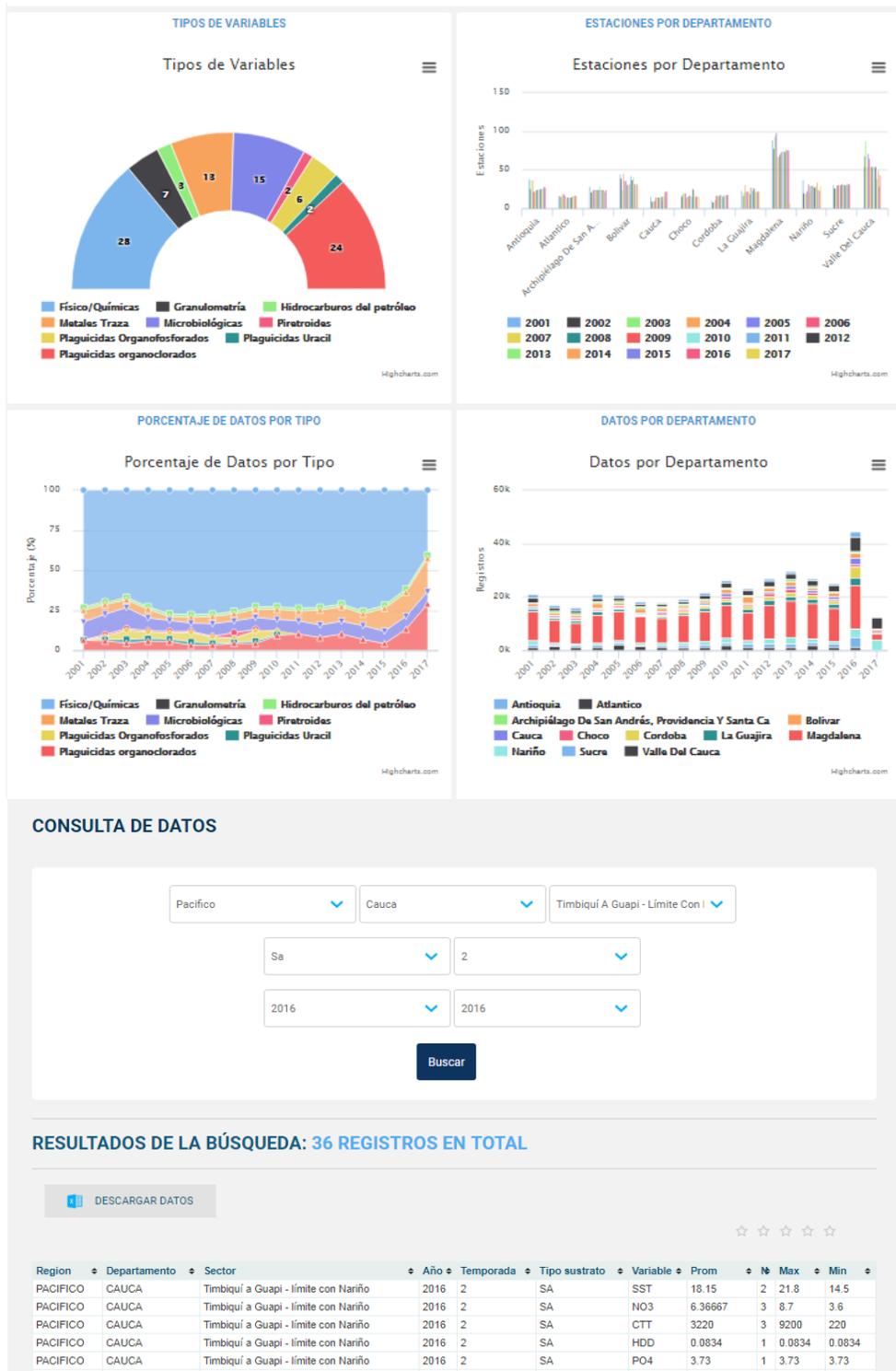


Figura 1.4. Servicios de la plataforma online de la REDCAM.

ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados de las variables de calidad de agua y sedimentos se analizaron con estadística básica y se compararon con los criterios de calidad descritos en el Decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)) para las variables que están reglamentadas y con valores de referencias descritos en guías internacionales y en la bibliografía científica que se muestran en el Anexo 1.

Adicionalmente, con el propósito de facilitar la interpretación de las condiciones de calidad del recurso hídrico marino, se calculó el Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras para la preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), con los resultados de oxígeno disuelto, pH, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos totales (SST), hidrocarburos disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) y coliformes termotolerantes (CTE) medidos en el agua. Este indicador utiliza una ecuación de promedio geométrico ponderado, categorizando la información en cinco niveles de calidad definidas entre 0 y 100, en función de los valores de referencias o criterios de calidad nacionales o internacionales ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)), representando según sus valores de aceptación o rechazo una calidad o condición del agua para la preservación de la flora y fauna (Tabla 1.2).

Tabla 1.2. Escalas de valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PFF}), y opciones de medidas que se pueden optar según la valoración del indicador ICAM_{PFF} (Modificado de [Marín, 2001](#)).

Escala de calidad	Categorías	Descripción	Opciones de medidas a optar
Óptima	100-90	Calidad excelente del agua	Continuar con el monitoreo
Adecuada	90-70	Agua con buenas condiciones para la vida acuática	Caracterización, diagnóstico y verificación
Aceptable	70-50	Agua que conserva buenas condiciones y pocas restricciones de uso	Monitoreo y evaluación fisicoquímicos y tóxicos semestral
Inadecuada	50-25	Agua que presenta muchas restricciones de uso	Monitoreo/bioensayos/medidas de control y vigilancia. Evaluación: fisicoquímicos y tóxicos, plan de contingencia trimestral
Pésima	25-0	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

En la Tabla 1.2, se presentan algunas alternativas de manejo, teniendo en cuenta la calidad del agua de acuerdo con el resultado del ICAM_{PFF}, mediante las cuales se puede reducir o mitigar el impacto sobre el ecosistema que esté siendo afectado, así como evaluar mediante bioensayos el efecto de contaminantes en especies acuáticas. Para mayor información, se puede consultar la hoja metodológica del indicador, a través de los enlaces, <http://indicadores.invemar.org.co/icam> y <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/indicadores-ambientales-iaii>.

FUENTES TERRESTRES Y MARÍTIMAS DE CONTAMINACIÓN AL MAR CARIBE Y OCÉANO PACÍFICO COLOMBIANO

Ostin Garcés-Ordóñez y Mónica Rocío Bayona-Arenas



Muelle ESSO, Bahía Solano, Chocó. Foto: Ostin Garcés.

1. FUENTES DE CONTAMINACIÓN AL MAR

La contaminación marina en Colombia, es 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 ([INVEMAR, 2017d](#)). Adicionalmente, los eventos de emergencia ambiental, como derrames de petróleo crudo y otras sustancias de forma intencional o accidental, con planes de contingencia deficientes, contribuyen al deterioro de los ecosistemas marinos y costeros del 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 ambiental marina en algunas zonas costeras del país, como las bahías de Santa Marta y Cartagena, el golfo de Urabá y los manglares de Tumaco, entre otros, se ve afectada negativamente ([INVEMAR, 2015c](#); [INVEMAR, 2017d](#); [INVEMAR et al., 2017](#)).

El programa nacional de monitoreo de la REDCAM, como soporte técnico de las autoridades ambientales con jurisdicción marina, ha apoyado al Gobierno Nacional en la ejecución de estrategias para la caracterización de la contaminación y monitoreo ambiental, con el inventario actualizado de las fuentes antropogénicas marítimas y terrestres de contaminación (FTCM) que impactan las zonas costeras, entre otras actividades ([Garay y Vélez, 2004](#); [Rodríguez, 2016](#)).

El inventario de las FTCM se realiza mediante visitas de campo, revisión de información secundaria, estimación de la producción de residuos sólidos y vertimientos de aguas residuales, cálculo de cargas contaminantes en las aguas residuales, entre otros, mostrando las deficiencias del saneamiento básico en los municipios costeros del país y su efecto negativo en el medio ambiente marino y costero ([INVEMAR, 2017d](#)). Esta información es relevante para que las autoridades ambientales del país y la comunidad en general conozcan el panorama de la contaminación marina y su impacto sobre los ecosistemas marinos. En la Figura 1.1 se presenta una representación gráfica y distribución espacial de las principales FTCM y actividades humanas en las zonas costeras de Colombia. El inventario y distribución detallada de las FTCM por departamentos se describen más adelante. Esta información se puede consultar directamente en el Geovisor de la REDCAM disponible en: <http://buritaca.invemar.org.co/geovisorredcam/>. Dentro de las actividades y fuentes contaminantes identificadas se consideran de mayor importancia y alto impacto, los residuos que genera la población costera, las descargas de los ríos, las escorrentías agrícolas y urbanas, minería y turismo.

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

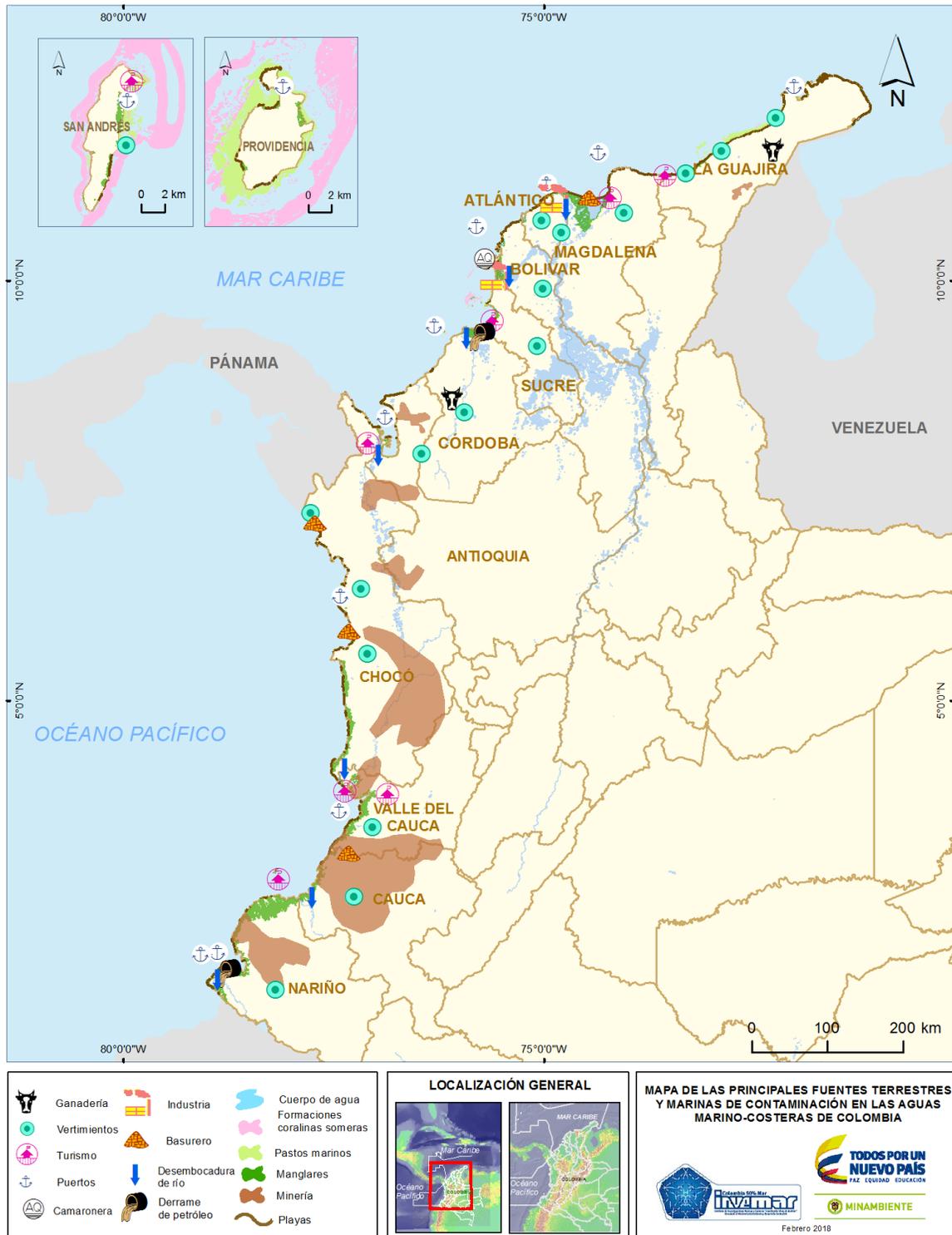


Figura 1.1. Mapa de Colombia con la representación gráfica y distribución de los ecosistemas marino costeros, actividades humanas y principales fuentes terrestres y marinas de contaminación a las aguas marinas y costeras del país.

1.1 POBLACIÓN COSTERA Y SANEAMIENTO BÁSICO

En la Figura 1.2 se muestran las poblaciones proyectadas a 2017 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas - [DANE \(2017\)](#) y la cobertura de los servicios de saneamiento básico en los 47 municipios costeros de Colombia. La población a 2017 según las proyecciones poblacionales 2005 - 2020 del DANE fue de 5.792.191 habitantes, distribuidos en un 85 % en la costa Caribe y 15 % en el Pacífico (Figura 1.2). Las mayores poblaciones se ubican en las ciudades capitales y puertos comerciales, en donde también hay un desarrollo industrial importante, como Barranquilla, Cartagena, Soledad, Santa Marta, Buenaventura, Riohacha y Tumaco; ciudades que además tienen mayor cobertura de los servicios de aseo y alcantarillado. Sin embargo, no es suficiente contar con una alta cobertura de estos servicios (al 100%), si los residuos generados y recolectados por el prestador del servicio no reciben un adecuado manejo, tratamiento y disposición final, pues su impacto en el ambiente marino y costero es negativo.

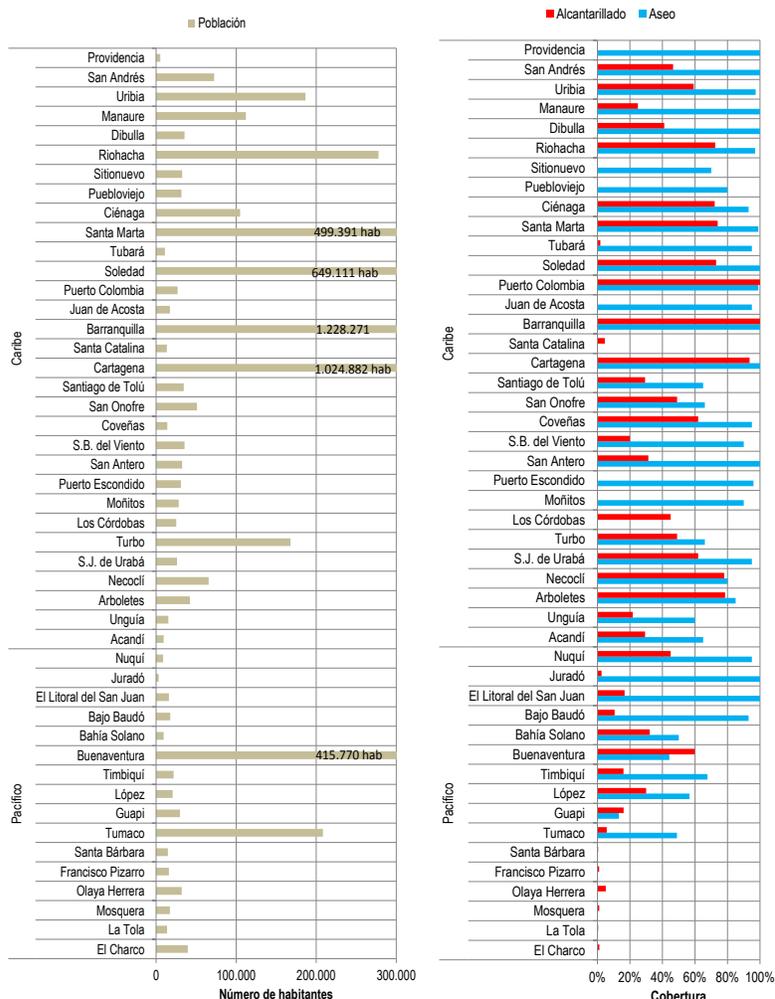


Figura 1.2. Población costera estimada a 2017 y cobertura de los servicios de saneamiento básico en los municipios costeros del Caribe y Pacífico colombianos. Fuentes: Proyección poblacional DANE (2005); Superservicios (2015; 2016).

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

Por otra parte, en la gran mayoría de los municipios del Pacífico y en algunos del Caribe, la cobertura de saneamiento básico es muy baja (Figura 1.2), lo cual representa una problemática ambiental que requiere atención por parte de las administraciones municipales y del gobierno nacional.

En la Tabla 1.1 se presentan la producción estimada, los tipos y sistemas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos y de aguas residuales domésticas de los municipios costeros del país. Según la [Superservicios \(2014a; 2016\)](#) la producción estimada de residuos sólidos para los años 2013, 2014 y 2015 fue de 3.674, 3.535 y 3.502 t/día respectivamente. Más del 90% de estos residuos se generaron en la costa Caribe, lo cual está relacionado con el tamaño de la población. Las ciudades que más residuos sólidos produjeron fueron Barranquilla, Cartagena y Santa Marta en el Caribe y Buenaventura y Tumaco en el Pacífico. El 55 % de los municipios disponen sus residuos en rellenos sanitarios, 23 % en botaderos a cielo abierto, 11 % en celdas transitorias y 11% en cuerpos de agua naturales (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Producción estimada, tipos y sistemas de tratamiento de residuos sólidos según Superservicios (2014a; 2016) y agua residual doméstica calculada según metodología UNEP-RCU/CEP (2010), reporte de Superservicios (2014b, 2015; 2017) en los municipios costeros del Caribe y Pacífico Colombiano. *Sin información.

Municipio	Producción estimada (t/día) y disposición final de Residuos sólidos				Aguas residuales domésticas		
	2013	2014	2015	Disposición final	Producción total estimada 2017 (m ³ /s)	Vertido directo sin tratamiento (m ³ /s)	Sistema de tratamiento de Aguas Residuales
San Andrés	46,8	*	*	Relleno sanitario Magic Garden	11.106	11.106	Pretratamiento emisario submarino
Providencia	1,1	*	*	Relleno sanitario Blue Lizard	607	575	PTAR/Poza séptica
Riohacha	142,5	127,4	122,1	Celda de contingencia de Riohacha	4.695	4.695	Pretratamiento y vertimiento directo
Dibulla	10,0	0,5	*	Botadero a cielo abierto	17.152	12.881	Laguna de oxidación
Manaure	3,0	4,0	4,1	Relleno sanitario Los Corazones	42.514	11.734	Laguna de Oxidación
Uribia	0,5	8,0	15,9	Celda transitoria	28.539	11.644	Laguna de Oxidación
Santa Marta	454,7	480,2	492,1	Relleno sanitario Palangana	16.051	4.478	Pretratamiento emisario submarino
Ciénaga	63,8	59,6	61,6	Relleno sanitario La María	4.203	4.203	Laguna de Oxidación
Puebloviejo	5,4	4,3	4,0	Botadero a cielo abierto	76.407	19.866	Poza séptica
Sitionuevo	14,1	8,0	*	Botadero a cielo abierto	4.303	4.303	Poza séptica
Barranquilla	1.289,0	1.295,5	1.325,0	Relleno sanitario Los Pocitos	187.925	93.962	Laguna de oxidación
Juan de Acosta	6,5	9,4	9,7	Relleno sanitario Las Margaritas	2.289	2.289	No tiene
Puerto Colombia	34,1	45,0	45,0	Relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos	3.563	0	Laguna de oxidación
Soledad	266,2	0,0	0,0	Relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos	1.293	1.293	No tiene
Tubará	8,2	4,7	6,1	Relleno sanitario Las Margaritas	99.314	26.815	No tiene
Cartagena	911,3	1.039,3	1072,5	Relleno sanitario Loma de Los Cocos	156.807	10.036	Emisario submarino
Santa Catalina	0,1	0,6	*	Relleno sanitario Loma de Los Cocos	1.781	1.701	No tiene
Coveñas	0,5	8,6	12,4	Relleno sanitario El Oasis	1.861	548	Laguna de oxidación
San Onofre	8,8	9,4	9,5	Relleno sanitario La Candelaria	6.774	6.008	Laguna de oxidación
Santiago de Tolú	17,9	12,1	5,1	Relleno sanitario Los Cerros	4.569	1.142	Laguna de oxidación
Los Córdoba	0,1	1,5	1,7	Relleno sanitario Loma Grande	3.343	1.838	Laguna de Oxidación

Municipio	Producción estimada (t/día) y disposición final de Residuos sólidos				Aguas residuales domésticas		
	2013	2014	2015	Disposición final	Producción total estimada 2017 (m³/s)	Vertido directo sin tratamiento (m³/s)	Sistema de tratamiento de Aguas Residuales
Moñitos	3,3	1,8	1,9	Relleno sanitario Loma Grande	3.752	3.741	No tiene
Puerto Escondido	2,3	1,1	1,4	Relleno sanitario Loma Grande	4.100	4.092	No tiene
San Antero	12,1	8,9	*	Relleno sanitario Loma Grande	4.313	2.963	Laguna de Oxidación
San Bernardo del Viento	4,4	4,0	2,4	Relleno sanitario Loma Grande	4.710	3.768	Laguna de Oxidación
Arboletes	10,5	7,6	8,1	Relleno sanitario Loma Grande	5.609	1.206	Laguna de Oxidación
Necoclí	5,6	7,7	12,4	Relleno sanitario Centro Industrial de Residuos Sólidos El Tejar	10.046	2.210	Laguna de Oxidación
San Juan de Urabá	6,3	6,5	7,2	Relleno sanitario Parque Ambiental La Pradera	25.687	13.100	Reactor UASB
Turbo	49,8	71,7	74,1	Relleno sanitario Centro Industrial de Residuos Sólidos de Urabá	3.467	1.320	Secundario (laguna de oxidación)
Acandí	1,2	2,4	2,3	Botadero a cielo abierto	1.104	1.104	-
Uguía	0,1	2,1	*	Botadero a cielo abierto	2.019	2.019	-
Bahía Solano	3,2	3,2	*	Botadero a cielo abierto	1.100	747	PTAR
Bajo Baudó	0,8	0,8	*	Botadero Caimanerita	2.336	2.088	-
El Litoral San Juan	0,6	0,6	*	Celda Transitoria el Litoral del San Juan	383	374	-
Juradó	0,8	0,7	*	Relleno sanitario	1.029	566	PTAR
Nuquí	1,8	1,6	*	Botadero a cielo abierto	2.121	1.767	No tiene
Buenaventura	191,9	208,5	147,3	Celda transitoria	63.613	63.613	No tiene
Guapi	1,1	1,1	*	Relleno sanitario Temuey	3.960	3.960	No tiene
López	2,5	2,5	*	Botadero a cielo abierto	2.729	2.729	No tiene
Timbiquí	0,1	1,8	*	Botadero a cielo abierto	2.899	2.899	No tiene
El Charco	4,7	4,2	*	Botadero a cielo abierto	5.251	5.188	No tiene
La Tola	4,3	3,8	*	Cuerpo de Agua río La Tola	2.118	2.097	No tiene
Mosquera	2,7	2,4	*	Cuerpo de Agua de Mosquera	1.813	1.805	No tiene
Olaya Herrera	4,7	4,3	*	Cuerpo de Agua río Sanquianga y Satinga	2.291	2.265	No tiene
Francisco Pizarro	3,5	3,1	*	Cuerpo de Agua Estero Salahonda	4.241	4.025	No tiene
Santa Bárbara	1,9	1,3	*	Cuerpo de Agua río Iscuandé	1.940	1.932	No tiene
Tumaco	69,4	63,1	58,0	Celda Transitoria Buchelly	31.873	30.056	No tiene

La producción de agua residual doméstica (ARD) para el año 2017 se estimó en 869.600 m³/día, con la metodología de [UNEP-RCU/CEP \(2010\)](#), la cual considera el tamaño de la población, la dotación neta de agua, cobertura de alcantarillado y un coeficiente de retorno de 0,85 para poblaciones con niveles de complejidad medio, medio-alto y alto. Esta estimación mostró que los mayores aportes provienen de los asentamientos costeros del Caribe (266.640 m³/día), en comparación con los del Pacífico (126.111 m³/día). De la producción total de ARD, se presume que el 45 % se vierte directamente a los cuerpos de agua naturales sin ningún tipo de tratamiento previo, debido a la baja cobertura de alcantarillado y a la ausencia de tratamientos de estos residuos en muchos de los municipios costeros (Tabla 1.1), además de que en cerca del 35 % de estos municipios los sistemas de tratamiento son precarios, están en mal estado o inoperantes, pero el mayor porcentaje de municipios costeros (>60 %) del país, en la gran mayoría ubicados

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

en el Pacífico, no cuentan con ningún tipo de sistema de tratamiento de ARD, solamente Santa Marta, San Andrés y Cartagena hacen pretratamiento o tratamiento primario y vierten sus aguas residuales a través de emisarios submarinos (Superservicios, 2014b; 2017). En este sentido, el caudal de ARD que potencialmente sería vertido, llevaría una carga contaminante presuntiva de 31.409 t/año de materia orgánica, representada en DBO₅; 62.818 t/año de DQO, 7.538 t/año de DQO, 7.538 t/año de nitrógeno inorgánico total, 503 t/año de fósforo inorgánico total, 31.409 t/año de sólidos suspendidos totales y $1,26 \times 10^{20}$ NMP/año de microorganismos representado en coliformes totales (Figura 1.3). Con este panorama, se evidencia la necesidad de hacer mayor inversión e implementar acciones técnicas para reducir la contaminación ambiental.

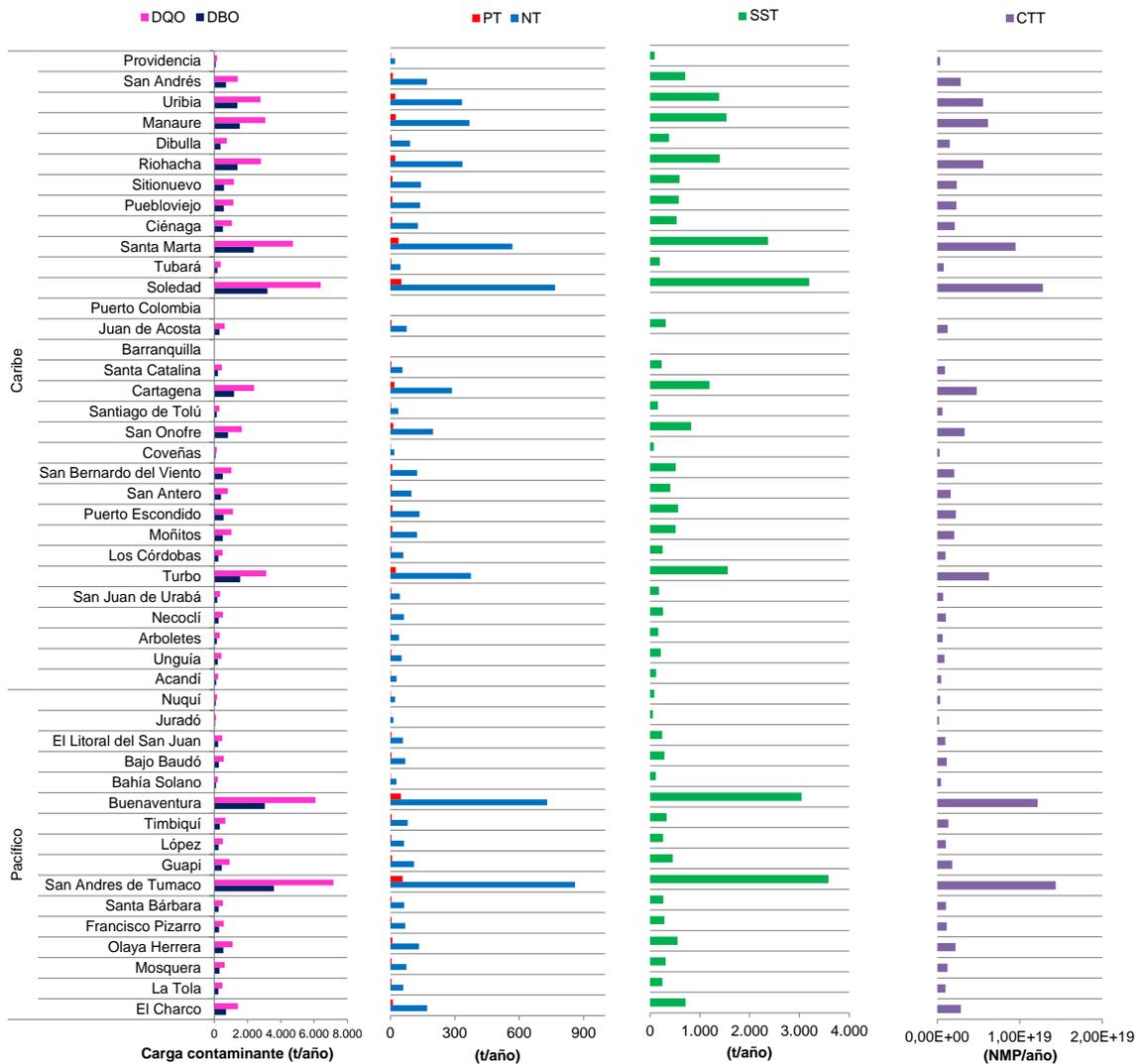


Figura 1.3. Carga contaminante estimada al año 2016 que potencialmente vierte la población costera del Caribe y Pacífico colombianos, en términos de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda bioquímica de oxígeno (DQO), nitrógeno inorgánico total (NIT), fósforo inorgánico total (PT), sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes totales (CTT) y en función de la deficiencia de cobertura de alcantarillado y sistemas de tratamiento.

Las aguas residuales, siguen siendo la fuente de contaminante que más afecta la calidad de las aguas marinas y costeras en diferentes zonas del país como se ha documentado a través del monitoreo nacional de la REDCAM para el 2016 en las bahías de Santa Marta, Gaira, Cartagena, Buenaventura y Tumaco, el golfo de Urabá, la playa de Riohacha, y todos los ríos, arroyos y caños que desembocan al mar Caribe y océano Pacífico ([INVEMAR, 2017d](#)), debido a la deficiencia en sistemas de tratamiento de aguas residuales en los municipios costeros de Colombia.

1.2 DESCARGAS DE LOS RÍOS

Los afluentes que desembocan en las costas del Caribe y Pacífico colombianos, traen consigo contaminantes producidos por las actividades socioeconómicas que se desarrollan a lo largo de su cuenca, como asentamientos humanos, agricultura, ganadería, minería e industria, entre otros y que llegan a estos sistemas por el manejo inadecuado de residuos sólidos y líquidos que reciben poco o nulo tratamiento antes de ser vertidos a suelos y cuerpos de agua. Como consecuencia, se produce la entrada de materia orgánica, sólidos suspendidos, residuos sólidos, hidrocarburos, metales pesados y otros contaminantes que deterioran la calidad de las aguas marinas y costeras y producen efectos en los ecosistemas de manglar, arrecifes de coral, pastos y playas, afectando la diversidad biótica y los servicios ecosistémicos que éstos prestan ([INVEMAR, 2017d](#)).

Para determinar las cargas contaminantes que ingresaron a ambientes marinos a través de los tributarios en el año 2016, se consideraron los caudales históricos de 37 ríos principales, en 11 departamentos costeros ([IDEAM, 2016](#); [Restrepo, 2006](#); [Garay et al., 2006](#)) y los promedios de las variables de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), ortofosfatos (PO_4^{3-}), sólidos suspendidos totales (SST), hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes al criseno (HPDD) y coliformes termotolerantes (CTE), obtenidos en el monitoreo de la REDCAM ([INVEMAR, 2017a](#)).

Cerca de 101.550 toneladas de nitrógeno disuelto, 28.828 toneladas de fosfatos, $3,39 \times 10^7$ toneladas de sólidos suspendidos, 244 toneladas de HDD y $2,41 \times 10^{10}$ NMP de coliformes termotolerantes fueron aportados en el año 2016 a las aguas marino costeras de Colombia. Las cargas de los afluentes que desembocan al Caribe como el Magdalena (Atlántico), Atrato (Antioquia) y el Canal del Dique (Bolívar) fueron hasta en dos órdenes de magnitud mayores a las de los ríos que llegan al Pacífico colombiano (Figura 4), ya que recorren las zonas con mayor densidad poblacional y mayor número de actividades económicas en el país. El río Magdalena aportó el 50 % de la carga nacional de NID, el 66 % de PO_4 , 59 % de SST y el 95 % de CTE. El río Atrato aportó el 13 % de la carga nacional de SST y el 9% de NID.

En el Pacífico los afluentes San Juan, Mira y Micay fueron los ríos más aportantes, específicamente de CTE, SST y HDD (Figura 1.4). En relación a los nutrientes (NID y PO_4^{3-}) y los contaminantes microbiológicos (CTE), la mayoría de los afluentes de esta región presentaron altas cargas, lo que está asociado a las bajas coberturas de alcantarillado (Figura 1.2) en las poblaciones costeras y del interior del país cercanas a sus riberas.

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



Figura 1.4. Caudales de los principales ríos del Caribe y Pacífico colombianos y cargas estimadas de Nitrógeno inorgánico disuelto (NID), ortofosfatos (P-PO₄⁻³) y coliformes termolerantes (CTE) Sólidos suspendidos totales (SST) e hidrocarburos disueltos y dispersos equivalentes al criseno (HDD). Fuente Caudal: serie de tiempo 1959- 2015 (IDEAM, 2016); Restrepo (2006); Garay *et al.* (2006); Fuente concentraciones: Base de datos REDCAM (INVEMAR, 2017a).

1.3 RESUMEN INVENTARIO DEPARTAMENTAL DE FTCM

El inventario detallado de las FTCM en los departamentos costeros inició con el desarrollo de casos de estudio en Bolívar y Valle del Cauca en el año 2009 (Troncoso *et al.*, 2009), posteriormente se hicieron los departamentos de Cauca y Antioquia en el 2010 (Vivas-Aguas *et al.*, 2010), La Guajira en 2011 (Vivas-Aguas *et al.*, 2012b), Córdoba en 2012 (Vivas-Aguas *et al.*, 2012a), Magdalena en el 2013 (Vivas-Aguas *et al.*, 2014), Atlántico en 2014 (Vivas-Aguas *et al.*, 2015b), las islas de San Andrés y Providencia en 2015 (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2016a), el departamento de Sucre en el 2016 (INVEMAR, 2017d), la costa sur de Nariño (INVEMAR *et al.*, 2017) y el caso de estudio Chocó en el 2017, este último se documenta en el presente informe.

A continuación se resumen y muestran los mapas de la distribución de ecosistemas marinos y costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y FTCM de cada departamento costero de Colombia.

1.3.1 Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina

Según el mapa de ecosistemas marinos y costeros de Colombia (IDEAM *et al.*, 2007), en el Archipiélago se encuentran arrecifes coralinos, praderas de pastos marinos, manglares y playas de arena que representan una parte de la riqueza natural del departamento (Figura 1.5). De acuerdo con Garcés-Ordóñez *et al.* (2016a), las principales fuentes de contaminación marina en el Archipiélago son los residuos de las actividades portuarias, comerciales, turísticas y los residuos de la población (Figura 1.6), que incluyen vertimientos de aguas residuales domésticas sobre el terreno y al mar Caribe a través de un emisario submarino, y el relleno sanitario Magic Garden de la isla de San Andrés (Figura 1.5).

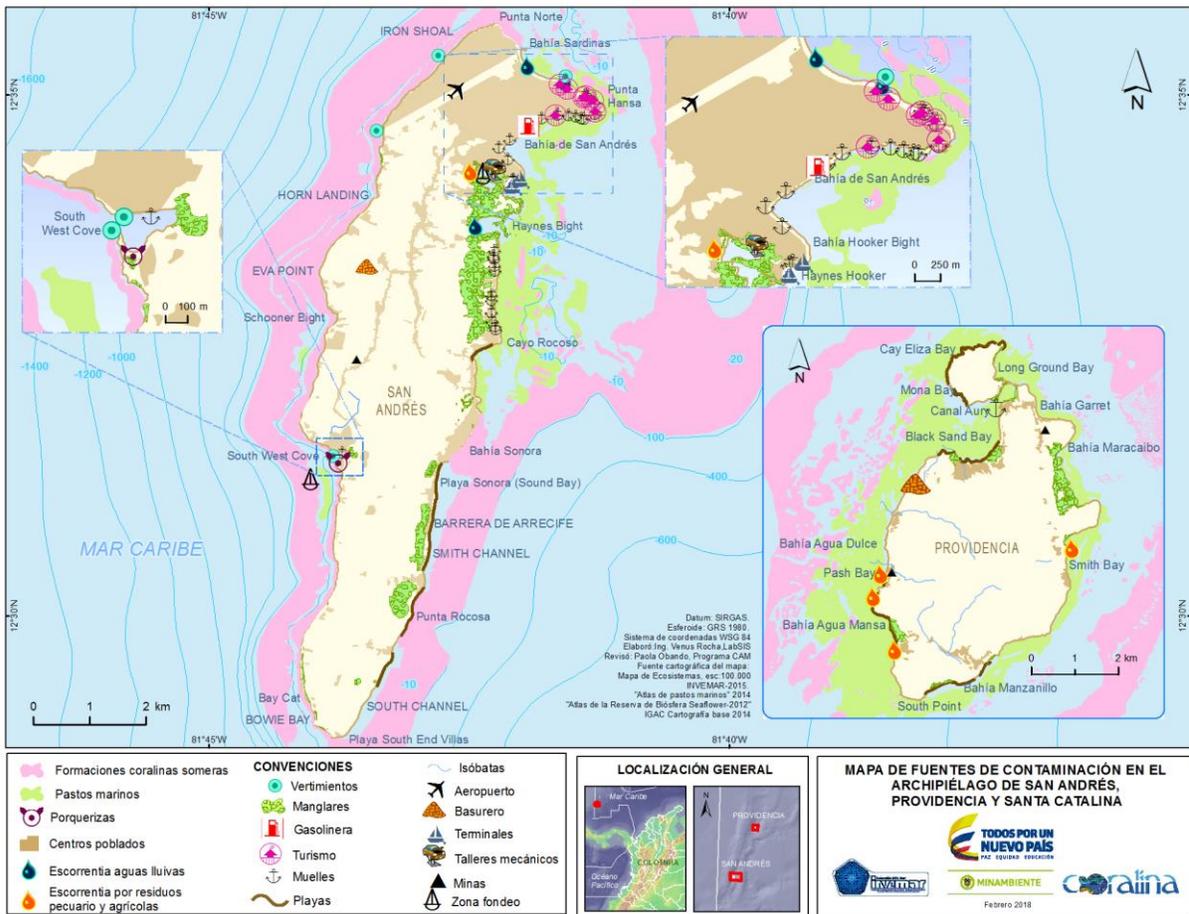


Figura 1.5. Mapa de la distribución de ecosistemas, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Caribe Colombiano.

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



Figura 1.6. Fuentes de contaminación y actividades desarrolladas en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina: A) disposición de basura en bahía Cove, B) emisario submarino, C). puerto de SAI y D) turismo en playas. Fotografías: Archivo INVEMAR.

En la Tabla 1.2, se presenta el resumen de las actividades socioeconómicas, FTCM, residuos contaminantes y cuerpos de agua receptores de la contaminación en las islas de San Andrés y Providencia.

Tabla 1.2. Principales actividades, fuentes contaminantes y cuerpos de agua afectados en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Modificado de [Garcés-Ordóñez et al. \(2016a\)](#).

Actividad / Fuente contaminante		Contaminantes	Receptor
Residuos de las poblaciones de San Andrés y Providencia	Residuos sólidos ordinarios (relleno sanitario, botadero a cielo abierto) y peligrosos provenientes del sector de servicios (hospitalarios) y comercio.	Materia orgánica, sedimentos, microorganismos, sólidos en suspensión, grasas y aceites, agroquímicos, metales pesados, lixiviados, plásticos.	Mar Caribe y acuíferos
	Vertimientos aguas residuales: sistema de alcantarillado, pozos sépticos, tuberías de conducción hacia el mar y disposición sobre el terreno.	Materia orgánica, sedimentos, microorganismos, sólidos en suspensión, grasas y aceites, hidrocarburos, metales pesados, detergentes, microplásticos.	Acuíferos y mar Caribe
Actividad marítimas y portuaria	Transporte marítimo, cargue y descargue de mercancías y productos.	Aguas de lastre, residuos de carbón, hidrocarburos, grasas y aceites, otros residuos oleosos, plásticos.	Mar Caribe
	Turismo (hoteles, restaurantes, actividades recreativas)	Residuos sólidos, especialmente plásticos, materia orgánica,	Mar Caribe

Actividad / Fuente contaminante		Contaminantes	Receptor
Otras actividades socioeconómicas	Servicios (alcantarillado, aseo, servicios portuarios, servicios comunales, servicios sociales y personales)	sedimentos, microorganismos patógenos, sólidos en suspensión, lodos de depuradoras, grasas y aceites, hidrocarburos y metales pesados	
	Comercio		
	Agricultura y pesca (población raizal)		

1.3.2 La Guajira

En La Guajira, los ecosistemas marinos y costeros más representativos son las playas y los pastos marinos. También se encuentran algunos parches coralinos y de manglar (Figura 1.7; IDEAM *et al.*, 2007). En Riohacha, Media Guajira, desemboca el río Ranchería, uno de los más importantes del departamento que circula por áreas agrícolas, ganaderas y mineras, facilitando el transporte e introducción de contaminantes de la cuenca alta al mar Caribe. Los ríos Camarones, Cañas, Jerez y Palomino en la costa sur del departamento aportan carga contaminante al mar Caribe (INVEVAR, 2017d). De acuerdo con Vivas-Aguas *et al.* (2012b), las principales actividades y FTCM 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, las actividades agropecuarias, la actividad marítima portuaria y el turismo de sol y playa (Figura 1.7).

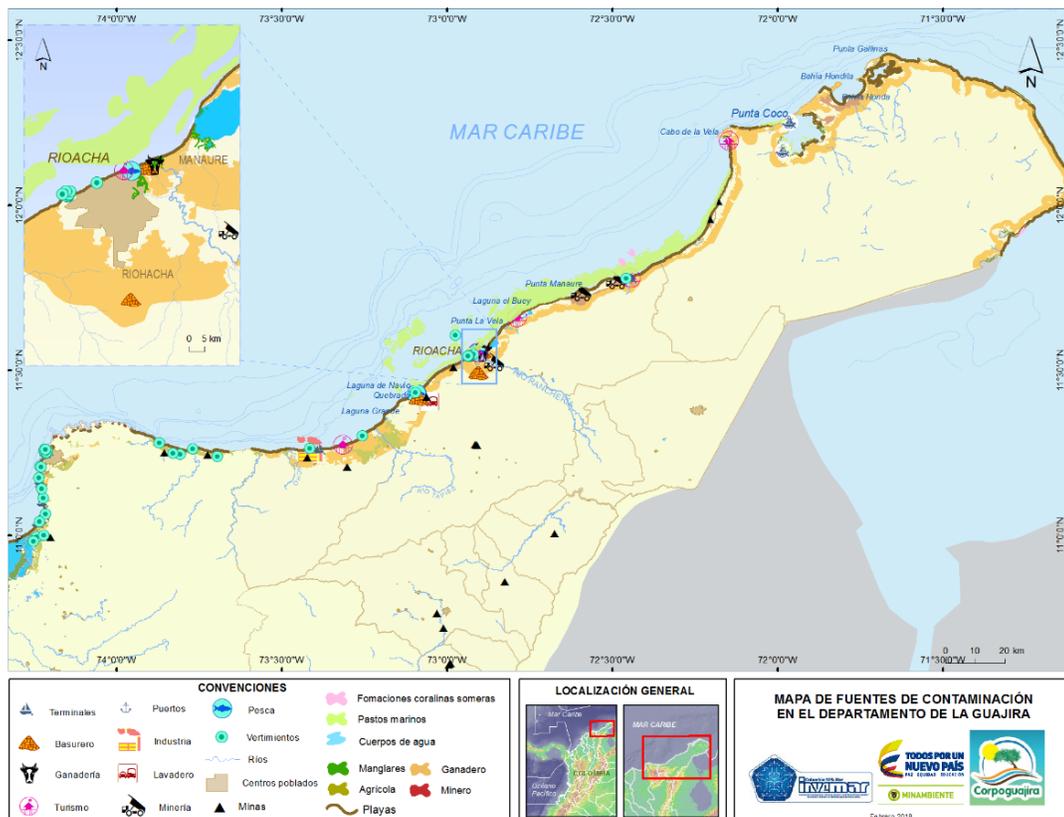


Figura 1.7. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de La Guajira, Caribe colombiano.

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

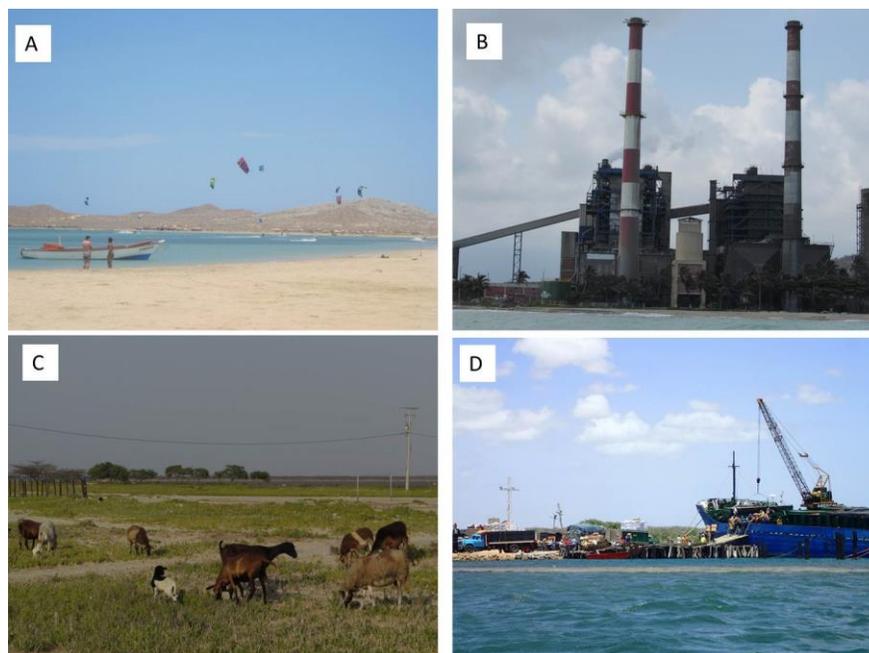


Figura 1.8. Fuentes de contaminación en el departamento de La Guajira: A) turismo en Cabo de la Vela, B) Termoelectrica, C) ganadería de caprinos, D) Puerto Nuevo, La Guajira. Fotografías: Archivo INVEMAR.

En la Tabla 1.3 se presenta el resumen de las actividades socioeconómicas, FTCM, residuos contaminantes y cuerpos de agua receptores de la contaminación en el departamento de La Guajira.

Tabla 1.3. Actividades productivas, fuentes y residuos contaminantes que afectan la calidad ambiental marina y costera en el departamento de La Guajira. Modificado de [Vivas-Aguas et al. \(2012b\)](#).

Actividad / Fuente Contaminante	Contaminantes	Receptor	
Minería y energía	Explotación de carbón Cerrejón, extracción de petróleo crudo y gas natural. Generación de energía en Termoguajira	Carbón mineral, sólido en suspensión y disuelto, hidrocarburos del petróleo, compuestos tóxicos orgánicos, metales pesados y aguas térmicas.	Mar Caribe, ríos Ranchería y Cañas.
Actividades agrícolas y pecuarias	Cultivos de arroz, maíz, tomate, plátano y sorgo. Cría de animales (vacas, caballos, chivos y ovejas, cerdos)	Plaguicidas, fertilizantes, agroquímicos, desechos de animales, microorganismos de origen fecal.	Ríos Ranchería, Cañas y Palomino
Actividad marítima y portuaria	Puerto Bolívar, Puerto Nuevo, Uribia, Dibulla, Riohacha.	Aguas de sentinas, residuos de carbón, residuos oleosos.	Bahía Portete, Mar Caribe.
Residuos municipales	Vertimientos de agua residuales domésticas sin tratamiento	Materia orgánica, microorganismos, sólidos en suspensión, grasas y aceites, hidrocarburos, metales pesados, nutrientes, plásticos y microplásticos	Mar Caribe, río Ranchería
	Residuo sólidos, botaderos a cielo abierto, Celda de contingencia de Riohacha, relleno sanitario Los Corazones, celda transitoria		
	Matadero de vacunos en Riohacha	Retazos de pieles, cascotes y heces	Mar Caribe

Actividad / Fuente Contaminante		Contaminantes	Receptor
	Estaciones de servicios y talleres automotriz	Aceites, grasas, sedimentos	Río Ranchería

1.3.3 Magdalena

Los ecosistemas marino costeros presentes en el departamento son arrecifes coralinos, pastos marinos, playas de arena, acantilados y humedales costeros con manglares como la Ciénaga Grande de Santa Marta –CGSM ([IDEAM et al., 2007](#)). Los municipios costeros del departamento son Santa Marta, Ciénaga, Pueblviejo y Sitionuevo. Los vertimientos directos de aguas residuales, el inadecuado manejo de los residuos sólidos, los residuos de las actividades mineras, agrícolas, pecuarias, portuarias, industriales y de turismo tradicional (Figura 1.9), además de las descargas de los ríos Don Diego, Guachaca, Piedras, Buritaca, Mendihuaca, Manzanares, Gaira, Toribio, Córdoba, Fundación, Aracataca, Sevillano y Magdalena que circulan por áreas agrícolas y desembocan en el mar Caribe y en la CGSM, son las principales fuentes de contaminación a la zona costera del departamento ([Vivas-Aguas et al., 2014](#); Figura 1.10). En la CGSM, las poblaciones palafíticas que se desarrollan dentro del espejo de agua, no cuentan con un plan de manejo de sus aguas servidas y residuos sólidos, incrementando el deterioro de la calidad de las aguas y sedimentos del sistema.



Figura 1.9. Actividades en la zona costera del departamento Magdalena A) turismo en playas del Rodadero, B) Puerto de Santa Marta, C) descargas del río Gaira y D) vertimiento de aguas residuales domésticas. Fotografías: Max Martínez, Ostín Garcés y Paola Obando.

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

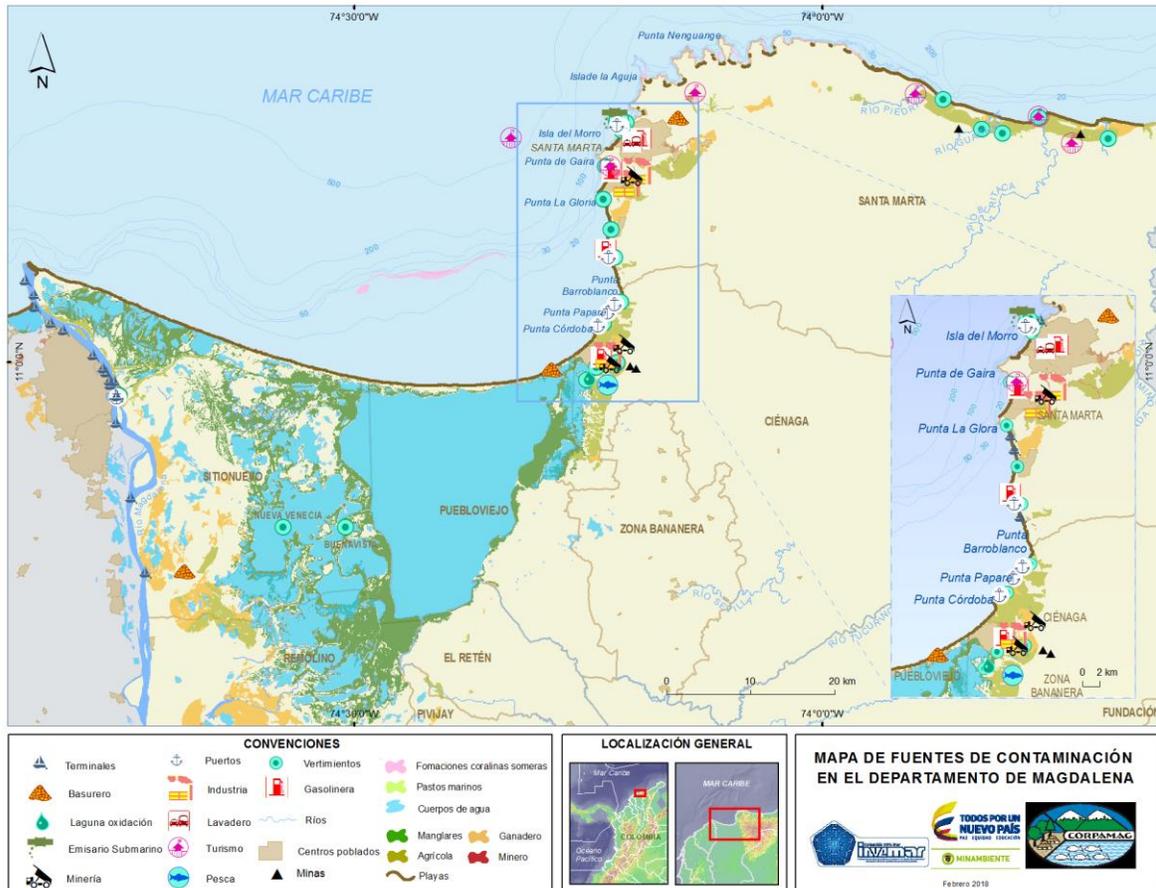


Figura 1.10. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Magdalena, Caribe colombiano.

En la Tabla 1.4 se presenta el resumen de las actividades, FTFCM, residuos contaminantes y cuerpos de agua receptores de la contaminación en el Magdalena, recuperado de [Vivas-Aguas et al. \(2014\)](#).

Tabla 1.4. Actividades productivas, fuentes y residuos contaminantes que afectan la calidad ambiental marina y costera en el departamento de Magdalena. Tomado y modificado de [Vivas-Aguas et al. \(2014\)](#)

Actividad / Fuente Contaminante	Contaminantes	Receptor
Minería	Sólidos suspendidos disueltos, hidrocarburos de petróleo y sus derivados, metales pesados, compuestos tóxicos orgánicos.	Mar Caribe
Actividades agrícolas y pecuarias	Plaguicidas, fertilizantes, agroquímicos, desechos de animales, microorganismos de origen fecal.	Ciénaga Grande de Santa Marta, ríos del departamento, bahía de Santa Marta y mar Caribe.

Actividad / Fuente Contaminante		Contaminantes	Receptor
	Melón, Tomate, frijol, Ñame, algodón y cilantro.		
Actividad marítima y portuaria	Transporte terrestre en el corredor Ciénaga – Santa Marta de carbón e hidrocarburos y transporte marítimo (manejo, cargue de carbón e hidrocarburos).	Aguas de lastre y de sentinas, residuos de carbón, residuos oleosos e hidrocarburos.	Mar Caribe.
Residuos municipales	Vertimientos de agua residuales domésticas sin tratamiento (emisario submarino en santa Marta, laguna de oxidación de Ciénaga, cuerpos de agua naturales, poblaciones palafíticas).	Materia orgánica, microorganismos, sólidos en suspensión, grasas y aceites, hidrocarburos, metales pesados, nutrientes, plásticos y microplásticos, lixiviados.	Mar Caribe, ríos Manzanares, Gaira, Guachaca, Buritaca, Ciénaga Grande de Santa Marta.
	Residuo sólidos (ordinarios y peligrosos), botaderos a cielo abierto, rellenos sanitario Palangana y La María		
	Matadero de vacunos y aves en Santa Marta.	Materia orgánica, microorganismos, sólidos en suspensión, grasas y aceites.	Río Manzanares y mar Caribe
	Estaciones de servicios y talleres automotriz	Aceites, grasas, petróleo y sus derivados y sedimentos.	Río Manzanares, bahía de Santa Marta.
Otras actividades económicas	Turismo (hoteles, restaurantes, Actividades recreativas y de líneas de costa).	Residuos sólidos, materia orgánica, sedimentos, microorganismos, disolventes (PCB), sólidos en suspensión, lodos de depuradoras, grasas y aceites, hidrocarburos, agroquímicos, metales pesados, detergentes y plásticos.	Ríos Manzanares, Gaira, Córdoba, Toribio, Buritaca, Don Diego, Guachaca, Piedras y Mendihuaca, sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, mar Caribe
	Industria (Alimentos, fabricación de minerales no metálicos, lubricantes y derivados de petróleo, maderas y construcción, agrícola, químicos, portuarias)		
	Servicios (estaciones de servicio, mantenimiento de automotores, explotación de minas y canteras, suministro de electricidad, telecomunicaciones, transporte, químicos, agrícola).		
	Comerciales (Turismo, Alimentos y bebidas, mantenimiento de automotores, suministro de electricidad, salud, portuarios, químicos, agrícola).		

1.3.4 Atlántico

En el departamento de Atlántico hay estuarios, lagunas costeras, playas de arena, acantilados y manglares (Figura 1.11; [IDEAM et al, 2007](#)). Las aguas marino costeras del departamento reciben los aportes del río Magdalena, el cual es receptor de aguas residuales domésticas e industriales de las poblaciones del interior y de la costa del país, así como escorrentías de las zonas agrícolas que finalmente son vertidos al mar Caribe. De acuerdo con [Vivas-Aguas et al. \(2015a\)](#), las principales actividades y FTSM 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) de los municipios de Barranquilla, Soledad, Juan de Acosta, Puerto Colombia y Tubará (Figura 1.11; Figura 1.12). Cabe resaltar que una gran parte de los vertimientos de aguas residuales del Distrito finalizan en las lagunas costeras, especialmente la Ciénaga de Mallorquín.

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

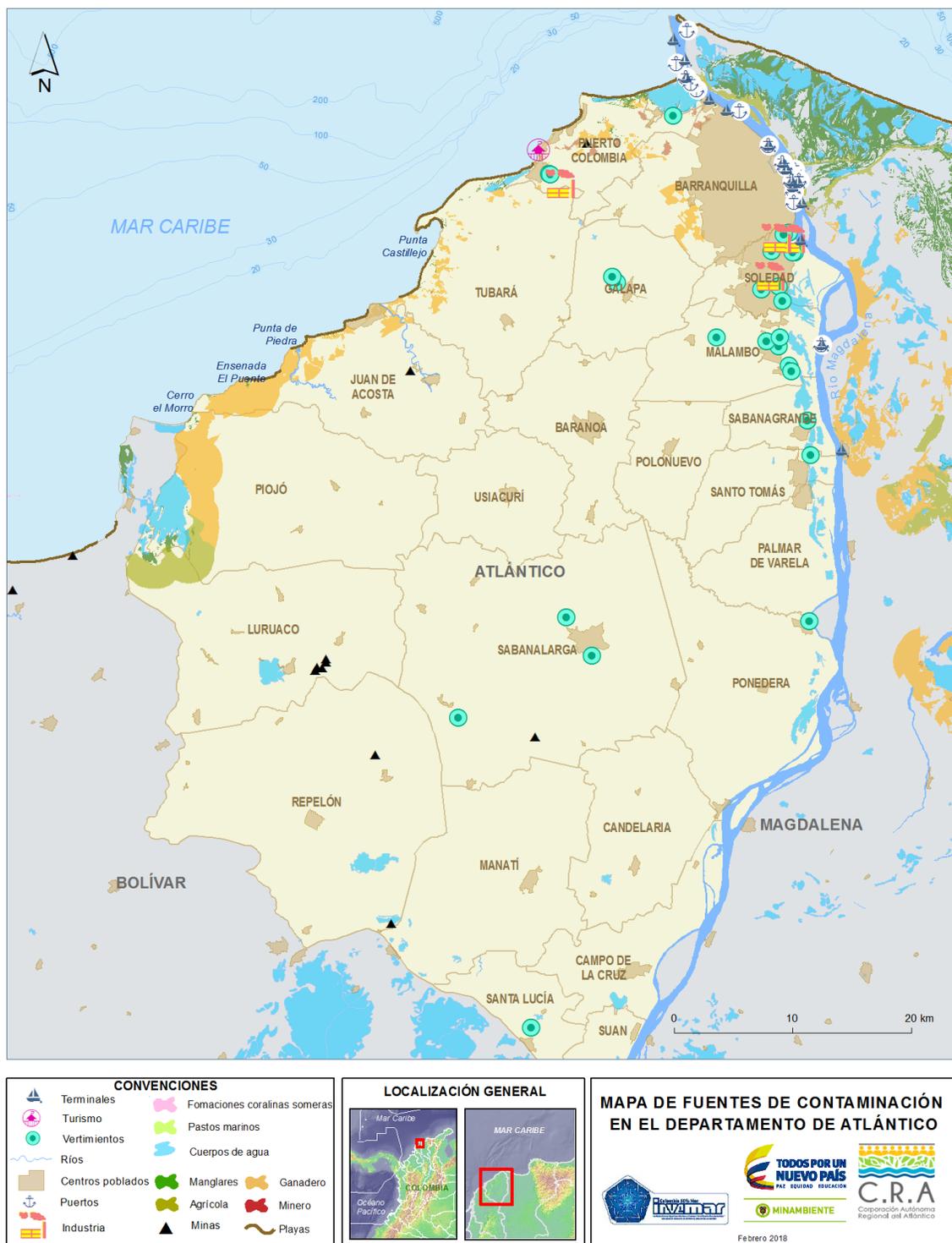


Figura 1.11. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Atlántico, Caribe colombiano.



Figura 1.12. Actividades en la zona costera del departamento del Atlántico. A) Construcción de bodegas industriales cercanas a la Base Naval, B) Casetas para atención a turistas en Salgar, C) Extracción de material cerca al arroyo Juan de Acosta y D) Sociedad portuaria de Barranquilla en el río Magdalena. Fotografías: Archivo INVEMAR.

En la Tabla 1.5 se presenta el resumen de las actividades socioeconómicas, FTFCM, residuos contaminantes y cuerpos de agua receptores de la contaminación en el Atlántico, rescatado de [Vivas-Aguas et al. \(2015a\)](#).

Tabla 1.5. Actividades productivas, fuentes y residuos contaminantes que afectan la calidad ambiental marina y costera en el departamento de Atlántico. Tomado de [Vivas-Aguas et al. \(2015a\)](#).

Actividad / Fuente Contaminante		Contaminantes	Receptor
Minería	Canteras para la extracción de minerales (Piedras calizas, agregados pétreos, arenas finas, cantos rodados, barro caliche, gravillas, cantos rodados, piedra china, arcillas y material de construcción) en los municipios de Barranquilla, Puerto Colombia, Tubará y Juan de Acosta.	Sólidos suspendidos disueltos, hidrocarburos, metales pesados.	Mar Caribe y ciénaga Mallorquín
Actividades agrícolas y pecuarias	Cultivos frutales permanentes de mango y ciruela; y cultivos transitorios de maíz, sorgo, yuca, frijol, guandul y millo; en los departamentos de Soledad, Tubará y Juan de Acosta. Criaderos de porcinos, caprinos, equinos, aves y ovinos.	Plaguicidas, fertilizantes, desechos de animales, microorganismos de origen fecal, materia orgánica, nutrientes.	Mar Caribe y río Magdalena.

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

Actividad / Fuente Contaminante		Contaminantes	Receptor
Actividad marítima y portuaria	Transporte marítimo multipropósito de productos metalúrgicos básicos, manufacturados, elaborados de metal, reciclaje, minerales no metálicos, maquinaria, equipos y aparatos electrónicos, productos de plástico y de caucho, instrumentos médicos, ópticos, vehículos automotores, remolques, equipos y aparatos de radio, carbón, entre otros.	Aguas de lastre y de sentinas, residuos de carbón, residuos oleosos e hidrocarburos.	Mar Caribe y río Magdalena.
Residuos municipales	Vertimientos de agua residuales domesticas sin tratamiento	Materia orgánica, microorganismos, sólidos en suspensión, grasas y aceites, hidrocarburos, metales pesados, nutrientes, detergentes plásticos y microplásticos, lixiviados.	Río Magdalena, ciénaga Mallorquín, ciénaga Balboa, Mar Caribe
	Residuo sólidos (ordinarios y peligrosos), rellenos sanitario Los Pocitos y Las Margaritas		
	Seis mataderos registrados ante la CRA, dedicados al comercio de materias primas agropecuarias y animales vivos; subproductos del consumo y productos cárnicos.	Materia orgánica, microorganismos, sólidos en suspensión, grasas y aceites.	Río Magdalena
Otras actividades económicas	Turismo (hoteles, restaurantes, actividades recreativas y de líneas de costa).	Residuos sólidos, materia orgánica, sedimentos, microorganismos, sólidos en suspensión, lodos de depuradoras, grasas y aceites, hidrocarburos, agroquímicos, metales pesados, detergentes y plásticos.	Mar Caribe, ciénagas de Mallorquín y Balboa, río Magdalena.
	Industria (portuaria, productos lácteos, embutidos, bebidas, jabones, materiales para la construcción, muebles, plásticos, partes metalmeccánicas, prendas de vestir, embarcaciones entre otros).		
	Servicios (energía eléctrica, gas natural, acueducto, alcantarillado, aseo, telecomunicaciones, servicios portuarios, servicios comunales, servicios sociales y personales).		
	Comerciales (turismo, alimentos y bebidas).		

1.3.5 Bolívar

En el departamento de Bolívar los ecosistemas marinos más representativos son los arrecifes coralinos de las islas de Rosario y San Bernardo, los manglares, pastos marinos, playas de arena y humedales costeros (Figura 1.13; [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. 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 ([Troncoso et al., 2009](#); Figura 1.13 y Figura 1.14).

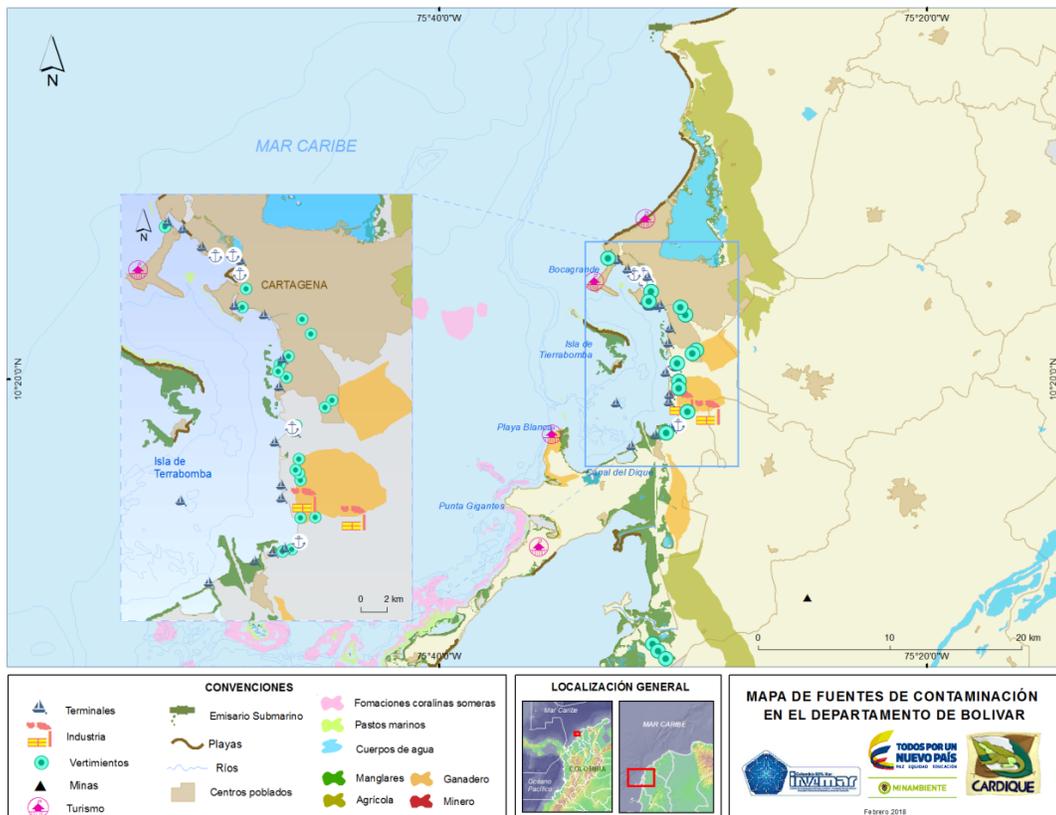


Figura 1.13. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Bolívar, Caribe colombiano.



Figura 1.14. Actividades en la zona costera del departamento de Bolívar. A) Puerto de Cartagena, B) basura en la ciénaga Las Quintas, C) turismo en playa Blanca, y D) ganadería en el Canal del Dique. Fotografías: Ostin Garcés.

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

En la Tabla 1.6 se presenta el resumen de las actividades socioeconómicas, FTFCM, residuos contaminantes y cuerpos de agua receptores de la contaminación en la zona costera de Bolívar, rescatado de [Troncoso et al. \(2009\)](#).

Tabla 1.6. Actividades productivas, fuentes y residuos contaminantes que afectan la calidad ambiental marina y costera en el departamento de Bolívar. Modificado de [Troncoso et al. \(2009\)](#).

Actividad / Fuente Contaminante		Contaminantes	Receptor
Residuos de la población de Cartagena	Residuos sólidos domésticos	Materia orgánica, residuos de hidrocarburos, aceites, metales pesados, microorganismos patógenos, detergentes, sólidos sedimentables y en suspensión, plásticos.	Mar Caribe, bahía de Cartagena, ciénagas Las Quintas y La Virgen.
	Vertimientos de aguas residuales y escorrentías urbanas.		
Descargas de tributarios	Canal del Dique.	Materia orgánica, detergentes, metales pesados, agroquímicos, nutrientes, sólidos en suspensión, microorganismos, plásticos.	Bahías de Cartagena y Barbacoas, mar Caribe.
Actividades productivas y socioeconómicas	Industrias de sustancias químicas básicas, productos plásticos, petróleo, procesamiento de productos pesqueros, entre otros.	Aguas residuales industriales, nutrientes, agroquímicos, materia orgánica, metales pesados, microplásticos.	Bahía de Cartagena, mar Caribe.
	Cultivos de yuca, plátano, coco, maíz, y frutales.	Materia orgánica, residuos de hidrocarburos, plaguicidas, microorganismos, nutrientes, plásticos.	Canal del Dique, mar Caribe.
	Turismo de sol y playa, hoteles, restaurantes, comercio.	Materia orgánica, residuos sólidos, hidrocarburos, plaguicidas, microorganismos de origen fecal, sólidos en suspensión, plásticos y microplásticos.	Mar Caribe, ciénagas Las Quintas y La Virgen.
	Sociedad Portuaria de Cartagena, transporte de pasajeros, mercancía, cargue y descargue de productos.	Aguas de lastre, residuos de hidrocarburos, otros residuos oleosos, plásticos.	Canal del Dique, bahía de Cartagena y mar Caribe.

1.3.6 Sucre

En la zona costera del departamento de Sucre hay ecosistemas marinos y costeros como playas arenosas, pastos marinos, arrecifes coralinos, lagunas costeras y manglares (Figura 1.15; [IDEAM et al, 2007](#)). En esta zona no drenan grandes ríos, sino pequeños caños y arroyos como Guacamaya, Alegría, El Francés, Guainí y Cascajo, los cuales son receptores de aguas residuales y escorrentías de tierras agrícolas y ganaderas. La población de los municipios costeros de San Onofre, de Santiago de Tolú y de Coveñas genera residuos domésticos como aguas residuales y residuos sólidos que son fuentes de contaminación marina. También las actividades productivas agropecuarias, industriales y marítimas generan residuos contaminantes que llegan a las aguas costeras y deterioran la calidad ambiental marina (Figura 1.16; [INVEMAR, 2017d](#)).

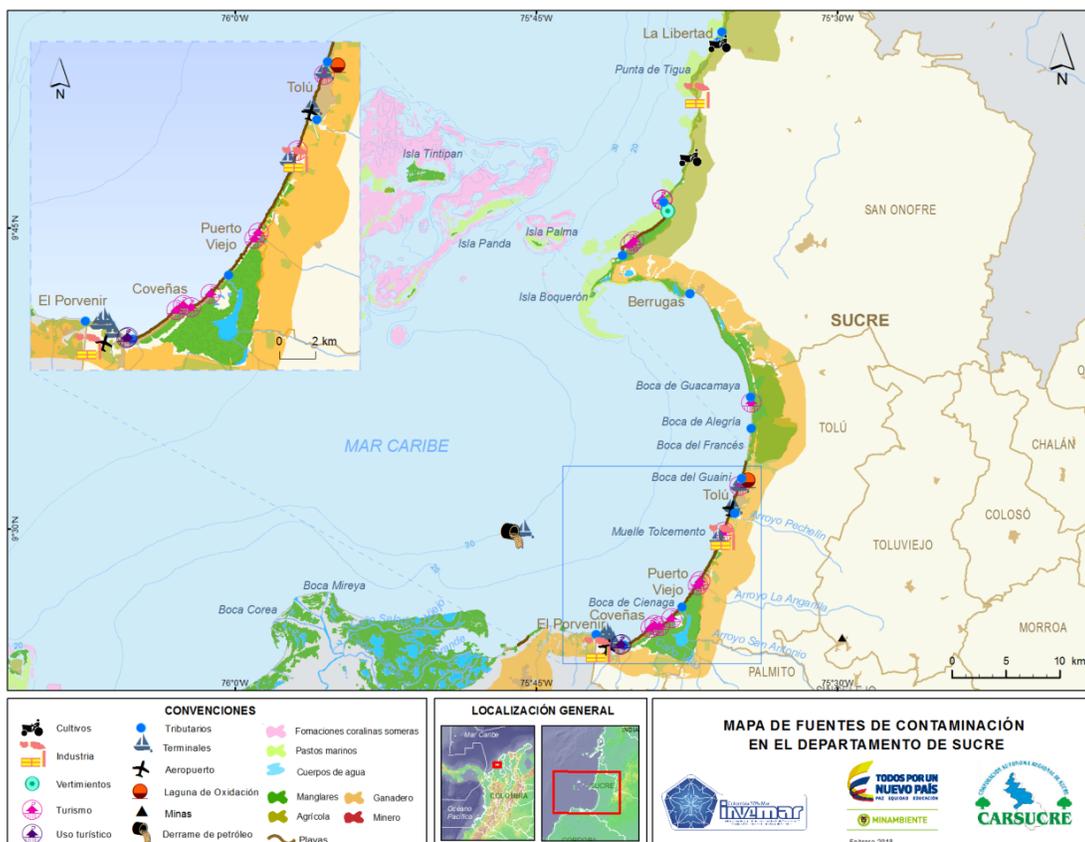


Figura 1.15. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Sucre, Caribe colombiano.



Figura 1.16. Actividades de A) turismo, B) pesca artesanal y C) transporte marítimo en Coveñas y D) disposición de aguas servidas en Caño Guainí. Fotos: Paola Obando y Ostín Garcés.

En la Tabla 1.7 se presentan las actividades socioeconómicas, FTFCM, residuos contaminantes y cuerpos de agua receptores de la contaminación en el Sucre, rescatado de [INVEMAR \(2017d\)](#).

Tabla 1.7. Actividades productivas, fuentes y residuos contaminantes que afectan la calidad ambiental marina y costera en el departamento de Sucre. Tomado de INVEMAR (2017d).

Actividad / Fuente Contaminante		Contaminantes	Receptor
Residuos de la población	Disposición de residuos sólidos en cuerpos de agua.	Materia orgánica, residuos de hidrocarburos, aceites, metales pesados, microorganismos patógenos, detergentes, sólidos sedimentables y en suspensión, plásticos.	Caños, Arroyos, Ciénaga La Caimanera, acuíferos, mar Caribe.
	Vertimientos de aguas residuales a cuerpos de agua y sin tratamiento previo.		
Descargas de tributarios	Caños Guacamaya, Alegría, El Francés, Guainí, Arroyo Cascajo, Boca de Ciénaga La Caimanera, entre otros.	Materia orgánica, detergentes, metales pesados, agroquímicos, nutrientes, sólidos, microorganismos patógenos, plásticos.	Mar Caribe
Actividades productivas y socioeconómicas	Agropecuaria (Ganadería, Pesca y cultivos)	Nutrientes, agroquímicos, materia orgánica, metales pesados, plásticos.	Caños, arroyos, mar Caribe
	Turismo (hoteles, restaurantes, actividades recreativas)	Materia orgánica, residuos de hidrocarburos, aceites, microorganismos, detergentes, plásticos.	Caños, arroyos, mar Caribe.
	Industria (Almacenamiento de Crudo y Planta de cemento y cal)	Residuos de hidrocarburos, sólidos en suspensión.	Mar Caribe
	Transporte de pasajeros, mercancía, cargue y descargue de productos, derrame de petróleo.	Aguas de lastre, residuos de hidrocarburos, otros residuos oleosos, plásticos.	Mar Caribe

1.3.7 Córdoba

En la zona costera del departamento de Córdoba, los manglares son los ecosistemas más representativos del Caribe por su estado de conservación y cobertura (Figura 1.17; [IDEAM et al, 2007](#)). El río Sinú, uno de los más importantes del Caribe, es el principal tributario que aporta aguas continentales al mar Caribe. De acuerdo con el inventario de FTFCM realizado por [Vivas-Aguas et al. \(2012a\)](#), las principales actividades socioeconómicas, cuyos residuos afectan la calidad de las aguas marinas y costeras de Córdoba son la ganadería, agricultura, acuicultura y el turismo, así como las actividades marítimas, incluyendo la petrolera que se desarrolla en el golfo de Morrosquillo y que tiene influencia en la costa del departamento. Los residuos domésticos de las poblaciones de San Antero, San Bernardo del Viento, Los córdobas, Puerto Escondido y Moñitos (Figura 1.17; Figura 1.18).

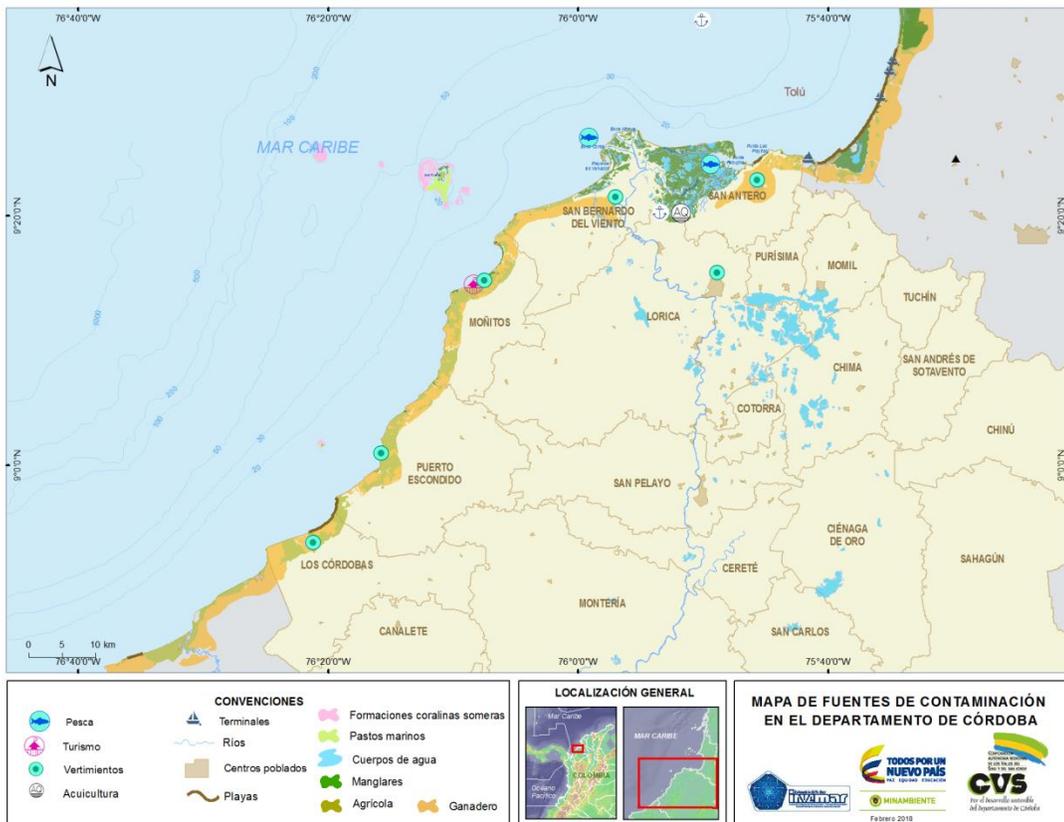


Figura 1.17. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Córdoba, Caribe colombiano.



Figura 1.18. Fuentes de contaminación y actividades económicas en Córdoba, A) Tránsito y actividades de lavado en el río Sinú B) Muelle turístico en Mónitos, C) transporte marítimo en Puerto Escondido y D) muelle turístico en San Bernardo del Viento. Fotografías: Paola Obando.

En la Tabla 1.8 se presentan las actividades socioeconómicas, FTFCM, residuos contaminantes y cuerpos de agua receptores de la contaminación en la zona costera de Córdoba, rescatado de [Vivas-Aguas et al. \(2012a\)](#).

Tabla 1.8. Actividades productivas, fuentes y residuos contaminantes que afectan la calidad ambiental marina y costera en el departamento de Córdoba. Tomado de [Vivas-Aguas et al. \(2012a\)](#).

Actividad / Fuente Contaminante		Sustancias contaminantes	Receptor
Residuos de la población	Residuos sólidos ordinarios y peligrosos	Materia orgánica, hidrocarburos, grasas y aceites, metales pesados, microorganismos, detergentes, sólidos suspendidos y en suspensión, plásticos, lixiviados, basura marina.	Los Ríos Canaletes y Los Córdoba, el arroyo Cardales, la ciénaga Juan Lara y el mar Caribe.
	Vertimientos de aguas residuales de los municipios Los Córdoba, Puerto Escondido, Moñitos, San Bernardo del Viento y San Antero.		
Descargas de tributarios	Río Sinú	Materia orgánica, detergentes, metales pesados, agroquímicos, nutrientes, sólidos, microorganismos y plásticos.	Bahía de Cispata, mar Caribe.
Actividades productivas y socioeconómicas	Agricultura, ganadería y acuicultura	Nutrientes, plaguicidas, nutrientes, materia orgánica, metales pesados, plásticos.	Río Sinú, Canaletes y Los Córdoba, mar Caribe
	Turismo (hoteles, restaurantes, actividades recreativas)	Materia orgánica, residuos de hidrocarburos, aceites, microorganismos, detergentes, basura marina.	Bahía de Cispata, mar Caribe
Actividades Marítimas	Transporte de pasajeros, mercancía, cargue y descargue de productos.	Residuos de hidrocarburos, otros residuos oleosos, plásticos.	Bahía de Cispata, río Sinú, mar Caribe.

1.3.8 Antioquia

En la zona costera de Antioquia se encuentran estuarios, volcanes de lodo, manglares, playas, lagunas costeras, entre otros ecosistemas de importancia para el bienestar y economía de la región (Figura 1.19; [IDEAM et al. 2007](#)). 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. Los residuos contaminantes que deterioran la calidad ambiental marina en el departamento provienen de vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento e inadecuada disposición de residuos sólidos de los municipios de Arboletes, San Juan de Urabá, Necoclí y Turbo, de las actividades agrícolas intensivas (cultivo de banano), ganadería, comercio, turismo y marítimas portuarias (Figura 1.20) ([Vivas-Aguas et al. 2010](#)).

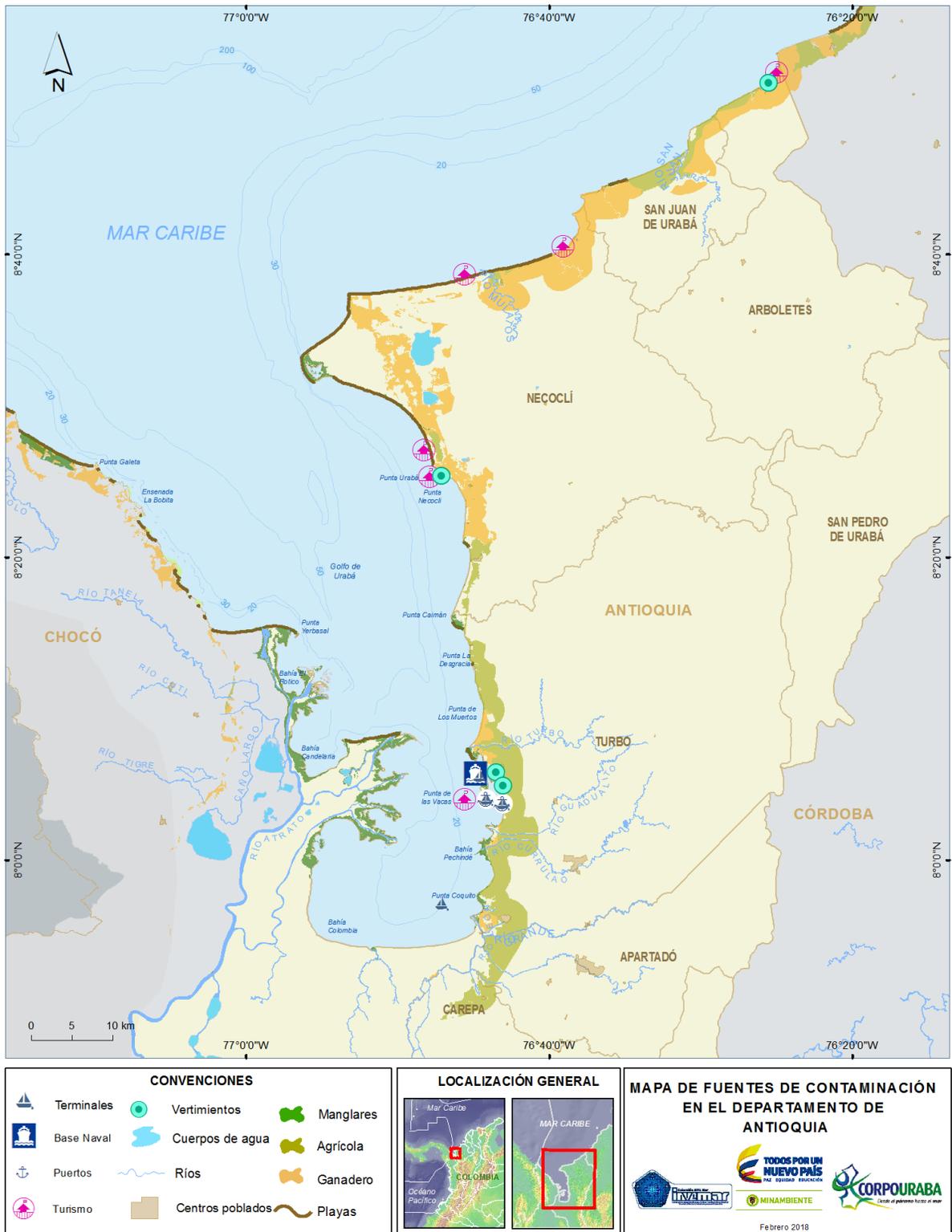


Figura 1.19. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Antioquia, Caribe colombiano.

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



Figura 1.20. Fuentes de contaminación y actividades desarrolladas en la franja costera de Antioquia A) turismo en Playa Dulce, B) actividad portuaria en Turbo, C) asentamientos en Turbo y D) disposición de basura en playas. Fotografías: Ramiro Rueda y Paola Obando.

En la Tabla 1.9 y Figura 1.19 se presenta un resumen de las actividades socioeconómicas, FTCM, residuos contaminantes y cuerpos de agua receptores de la contaminación en la zona costera de Antioquia, rescatado de [Vivas-Aguas et al. \(2010\)](#).

Tabla 1.9. Actividades productivas, fuentes y residuos contaminantes que afectan la calidad ambiental marina y costera en el departamento de Antioquia. Tomado de [Vivas-Aguas et al. \(2010\)](#).

Actividad / Fuente Contaminante		Sustancias contaminantes	Receptor
Residuos de la población	Disposición de residuos sólidos en cuerpos de agua.	Materia orgánica, residuos de hidrocarburos, aceites, metales pesados, microorganismos de origen fecal, basura marina, detergentes, sólidos sedimentables y en suspensión, grasas y aceites.	Ríos del departamento, golfo de Urabá y mar Caribe.
	Vertimientos de aguas residuales de las poblaciones de Arboletes, San Juan de Urabá, Necoclí, Turbo.		
Descargas de tributarios	Ríos Atrato, Guadualito, Mulatos, Necoclí, Currulao, León, Turbo.	Materia orgánica, detergentes, metales pesados, agroquímicos, nutrientes, sólidos, microorganismos fecales, plásticos.	Golfo de Urabá y mar Caribe.
Actividades productivas y socioeconómicas	Cultivo a gran escala de plátano, otros cultivos arroz, yuca, ñame, maíz. Ganadería bovina	Nutrientes, agroquímicos, materia orgánica, metales pesados, plásticos.	Ríos del departamento, Golfo de Urabá y mar Caribe.
	Turismo costero en Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes	Materia orgánica, residuos de hidrocarburos, aceites, microorganismos, detergentes, plásticos.	

Actividad / Fuente Contaminante		Sustancias contaminantes	Receptor
	Comercio de alimentos, graneros, supermercados, accesorio y venta de combustible, materiales para construcción	Residuos sólidos, materia orgánica, residuos oleosos, sólidos en suspensión, aguas residuales.	
	Instalaciones portuaria en Turbo para exportación de banano, transporte en lancha de pasajeros.	Residuos oleosos, materia orgánica, residuos sólidos, hidrocarburos.	Golfo de Urabá, mar Caribe

1.3.9 Valle del Cauca

En el Valle del Cauca, los estuarios, manglares y playas son los ecosistemas predominantes en la zona costera de este departamento ([IDEAM et al., 2007](#)). Las aguas marino costeras del Valle del Cauca están influenciadas por las descargas de los ríos San Juan, Dagua, Anchicayá, Potedó y Raposo, los cuales aportan nutrientes y sustancias orgánicas e inorgánicas. La población costera se ubica en el municipio de Buenaventura, donde se generan aguas residuales y residuos sólidos producto de las actividades domésticas que son fuentes de contaminación al mar. Otras fuentes de contaminación identificadas en esta zona son los residuos de la minería, las escorrentías agrícolas y de áreas de ganadería, los residuos de la industria pesquera y del puerto de Buenaventura ([Troncoso et al., 2009](#)).

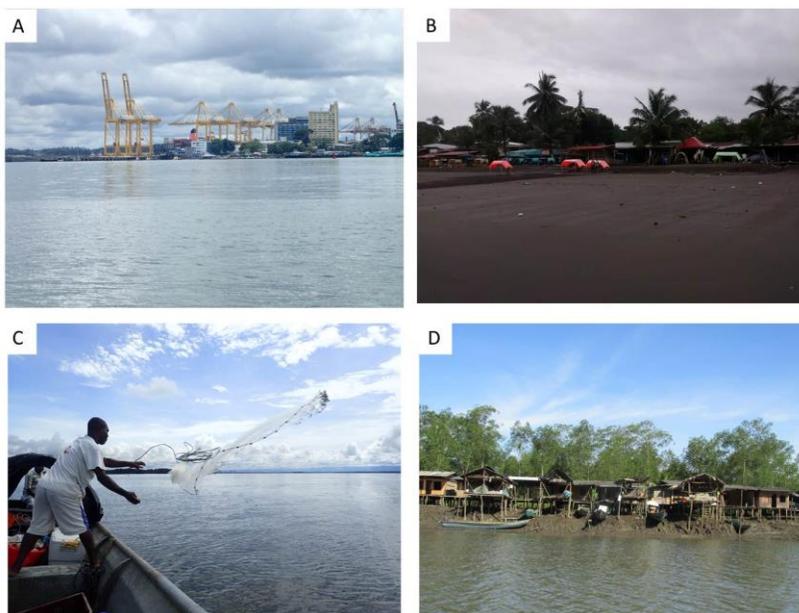


Figura 1.21. Fuentes de contaminación y actividades económicas en Valle del Cauca, A) Puerto de Buenaventura, B) Turismo de sol y playa, C) pesca y D) viviendas palafitas en Humanes Mar. Fotografías: Archivo CAM.

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

En la Tabla 1.10 y Figura 1.22 se presenta un resumen de las actividades socioeconómicas, FTCM, residuos contaminantes y cuerpos de agua receptores de la contaminación en la zona costera del Valle del Cauca (Troncoso *et al.*, 2009).

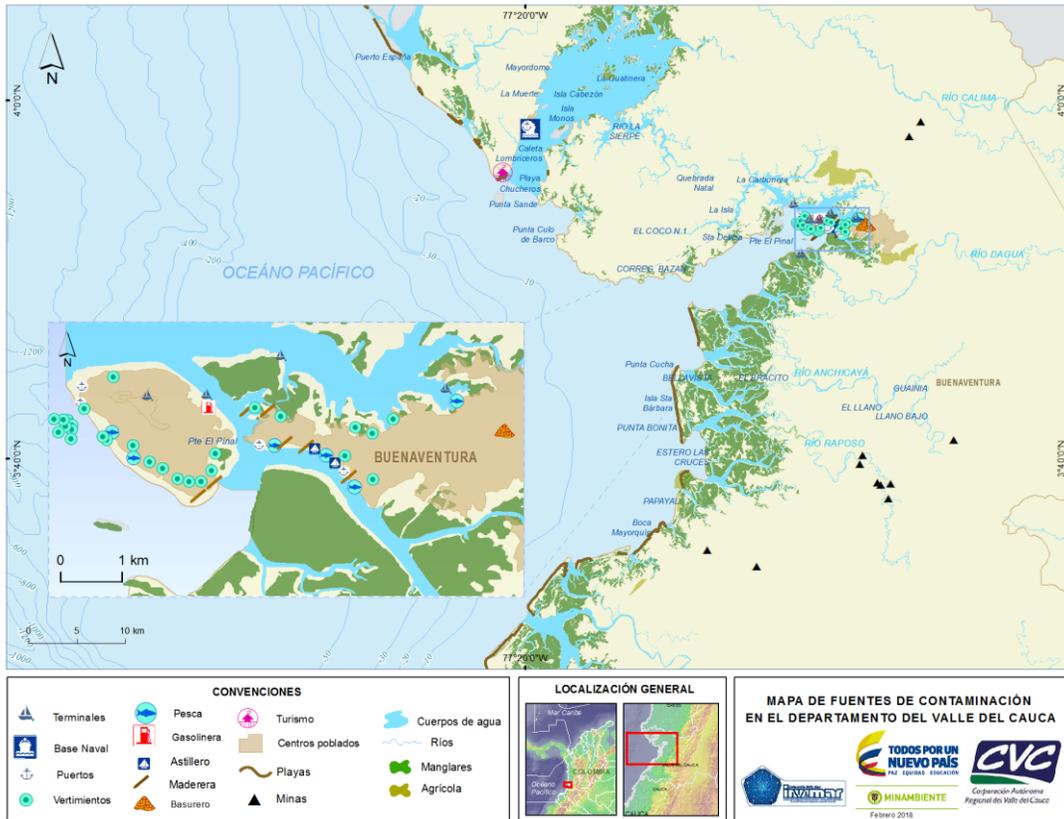


Figura 1.22. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Valle del Cauca, Pacífico colombiano.

Tabla 1.10. Actividades productivas, fuentes y residuos contaminantes que afectan la calidad ambiental marina y costera en el departamento Valle del Cauca. Tomado de Troncoso *et al.* (2009).

Actividad / Fuente Contaminante	Sustancias contaminantes	Receptor
Residuos de la población	Materia orgánica, sólidos suspendidos, hidrocarburos, microorganismos de origen fecal, residuos sólidos ordinarios y peligrosos, plásticos y microplásticos, lixiviados.	Bahía de Buenaventura y océano Pacífico
Descargas de tributarios	Sólidos suspendidos, materia orgánica, microorganismos de origen fecal, nutrientes inorgánicos, hidrocarburos, plaguicidas, metales pesados, residuos sólidos, microplásticos.	Bahía de Buenaventura, océano Pacífico.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados.	Ríos Dagua, Anchicayá, Raposo y bahía de Buenaventura
Actividades productivas y socioeconómicas	Plaguicidas, nutrientes, sólidos en suspensión, materia orgánica, residuos sólidos.	Ríos Dagua, Anchicayá, Raposo y

Actividad / Fuente Contaminante	Sustancias contaminantes	Receptor
yuca, cacao, plátano, maíz, borojó, caña panelera y árboles frutales. Ganadería de bovinos		bahía de Buenaventura
Turismo en playas de Chuchero, piangüita, Bocana, Juanchaco y Ladrilleros.	Aguas residuales, basura marina, materia orgánica, microorganismos de origen fecal, sólidos en suspensión.	Bahías de Buenaventura y Málaga, océano Pacífico
Industria pesquera de camarón, langostino, sardina y atún	Materia orgánica, aguas residuales, sólidos suspendidos, nutrientes.	Bahía de Buenaventura
Puerto de Buenaventura, muelle petrolero, muelle turístico, transporte marítimo	Hidrocarburos, grasas y aceites, residuos sólidos, sólidos suspendidos, vertimientos de aguas residuales	Bahía de Buenaventura, océano Pacífico

1.3.10 Cauca

Los manglares, los estuarios y la Isla Gorgona, en el departamento del Cauca, son ecosistemas marino costeros estratégicos que brindan bienes y servicios ambientales a la población de los municipios de López, Timbiquí y Guapi ([IDEAM et al, 2007](#)). En la zona costera del Cauca desembocan los ríos Naya, Micay, Saija, Bubuey, Timbiquí, Guajuí y Guapi, los cuales se consideran las principales vías de entrada de contaminación al mar. En el estudio realizado por [Vivas-Aguas et al. \(2010\)](#) se identificaron las principales fuentes de contaminación marina, entre las cuales están 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, entre otros (Figura 1.23).



Figura 1.23. Fuentes de contaminación y actividades desarrolladas en la franja costera de Cauca, A) Aprovechamiento forestal, B) expendio de combustibles, C) turismo en Isla Gorgona y D) pesca artesanal. Fotografías: Archivo CAM.

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

En la Tabla 1.11 y Figura 1.24 se presenta un resumen de las actividades socioeconómicas, FTCM, residuos contaminantes y cuerpos de agua receptores de la contaminación en la zona costera del Cauca, rescatado de [Vivas-Aguas et al. \(2010\)](#).

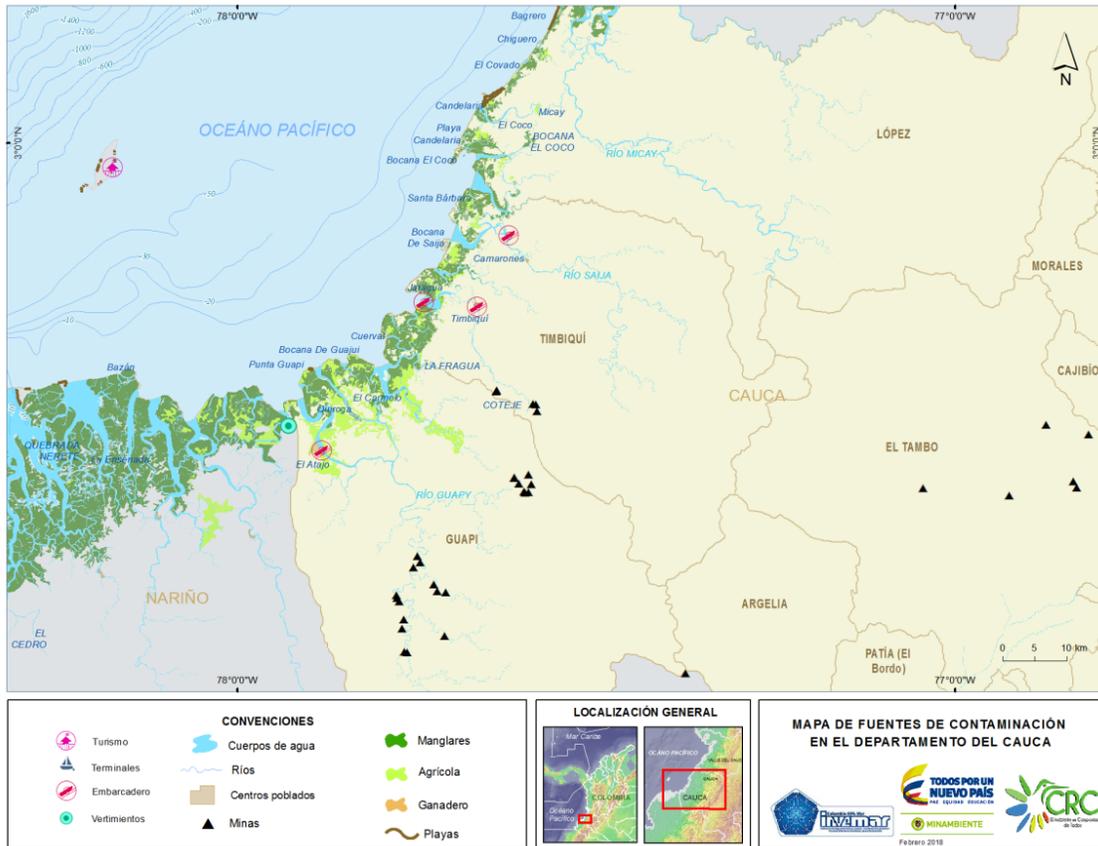


Figura 1.24. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento del Cauca, Pacífico colombiano.

Tabla 1.11. Actividades productivas, fuentes y residuos contaminantes que afectan la calidad ambiental marina y costera en el departamento de Cauca. Tomado y modificado de [Vivas-Aguas et al. \(2010\)](#).

Actividad / Fuente Contaminante		Contaminantes	Receptor
Residuos de la población	Vertimientos directos de aguas residuales a cuerpos de agua en los municipios de Guapi, Timbiquí y López de Micay	Materia orgánica, nutrientes, microorganismos de origen fecal, grasas y aceites, hidrocarburos, plaguicidas, metales pesados, residuos sólidos persistentes (plásticos), sólidos en suspensión, lixiviados.	Ríos Naya, Micay, Saija, Bubuey, Timbiquí, Guajuí y Guapi y océano Pacífico
	Botaderos a cielo abierto, relleno sanitario Temuey		
Minería	Extracción de oro	Sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, metales pesados, cianuro	Ríos Micay, Saija, Bubuey y Timbiquí, océano Pacífico
Descargas de tributarios	Ríos Naya, Micay, Saija, Bubuey, Timbiquí, Guajuí y Guapi	Materia orgánica oxidable, sólidos en suspensión, metales pesados, plaguicidas, microorganismos de origen fecal, hidrocarburos, plásticos.	Océano Pacífico
Otras actividades productivas y socioeconómicas	Industria de producción harina de pescado y procesamiento pesquero	Aguas residuales, sólidos suspendidos, materia orgánica, grasas y aceites.	Estero Chanzará, río Guapi, océano Pacífico

Actividad / Fuente Contaminante	Contaminantes	Receptor
Extracción y Transformación de Madera (Aserríos)	Sólidos suspendidos y sedimentables, residuos forestales, materia orgánica.	Ríos Guapi, Guajui, Timbiquí, Bubuey, Saija y Micay
Cocoteras y trapiches	Nutrientes, material vegetal, sólidos en suspensión.	
Turismo en la isla Gorgona	Aguas residuales, residuos sólidos, materia orgánica, nutrientes, hidrocarburos, plásticos.	Océano Pacífico
Muelles de embarcaciones con motor, almacenamiento, expendio de combustibles	Residuos oleosos, hidrocarburos, dioxinas y furanos, residuos sólidos peligrosos	Ríos Guapi, Guajuí, Timbiquí, Saija y Micay

1.3.11 Nariño

En el departamento de Nariño, los manglares son los ecosistemas marino costeros más representativos del departamento y de la región del Pacífico colombiano, por su cobertura y estado de conservación. Además de los manglares, se encuentran ecosistemas de playas, acantilados, playones intermareales y estuarios de importancia ambiental, económica y cultura ([IDEAM et al., 2007](#)). Las principales fuentes de contaminación identificadas en el monitoreo REDCAM y en el estudio de vulnerabilidad ecológica por derrames de hidrocarburos realizado por [INVEMAR et al. \(2017\)](#), son las aguas residuales domésticas, la inadecuada disposición de residuos sólidos, las escorrentías agrícolas, las escorrentías y aguas residuales de la minería, los residuos de la actividad portuaria y del tráfico marítimo y los derrames de petróleo producto de atentados al Oleoducto Transandino, accidentes portuarios y extracción ilegal de combustibles del oleoducto (Figura 1.25; [INVEMAR, 2017d](#); [INVEMAR et al., 2017](#)).

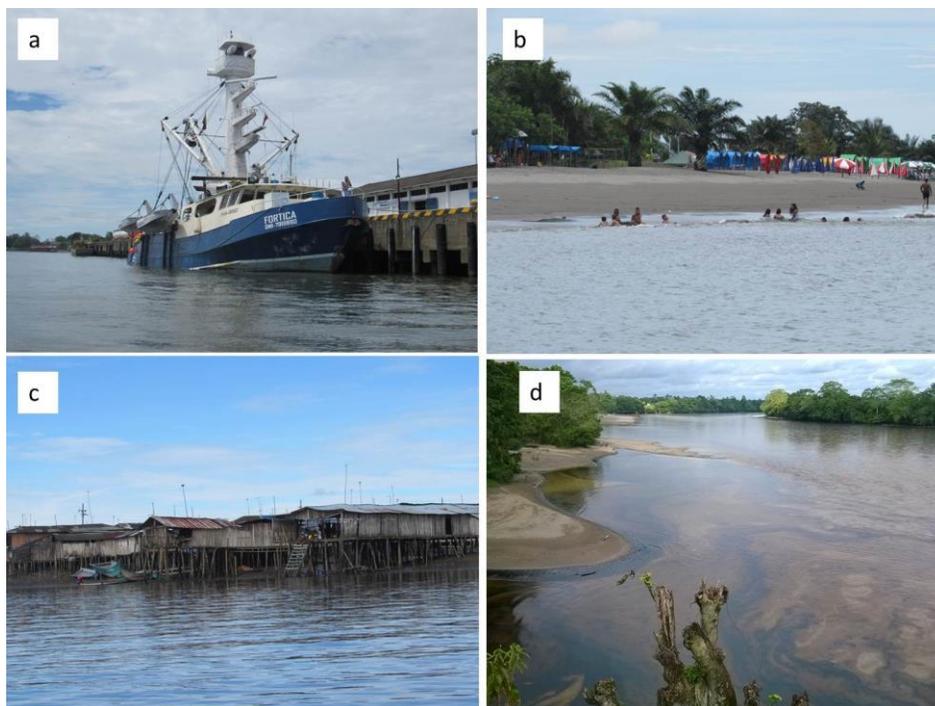


Figura 1.25. Fuentes de contaminación y actividades desarrolladas en la franja costera de Nariño, A) Puerto de Tumaco, B) turismo en la playa El Morro, C) Casas palafitas, y D) derrame de crudo. Fotografías: Archivo CAM.

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

En la Figura 1.26 y Tabla 1.12, se presenta un resumen de las actividades socioeconómicas, FTCM, residuos contaminantes y cuerpos de agua receptores de la contaminación en la zona costera de Nariño, recopilado de [INVEMAR \(2017d\)](#) e [INVEMAR et al. \(2017\)](#).

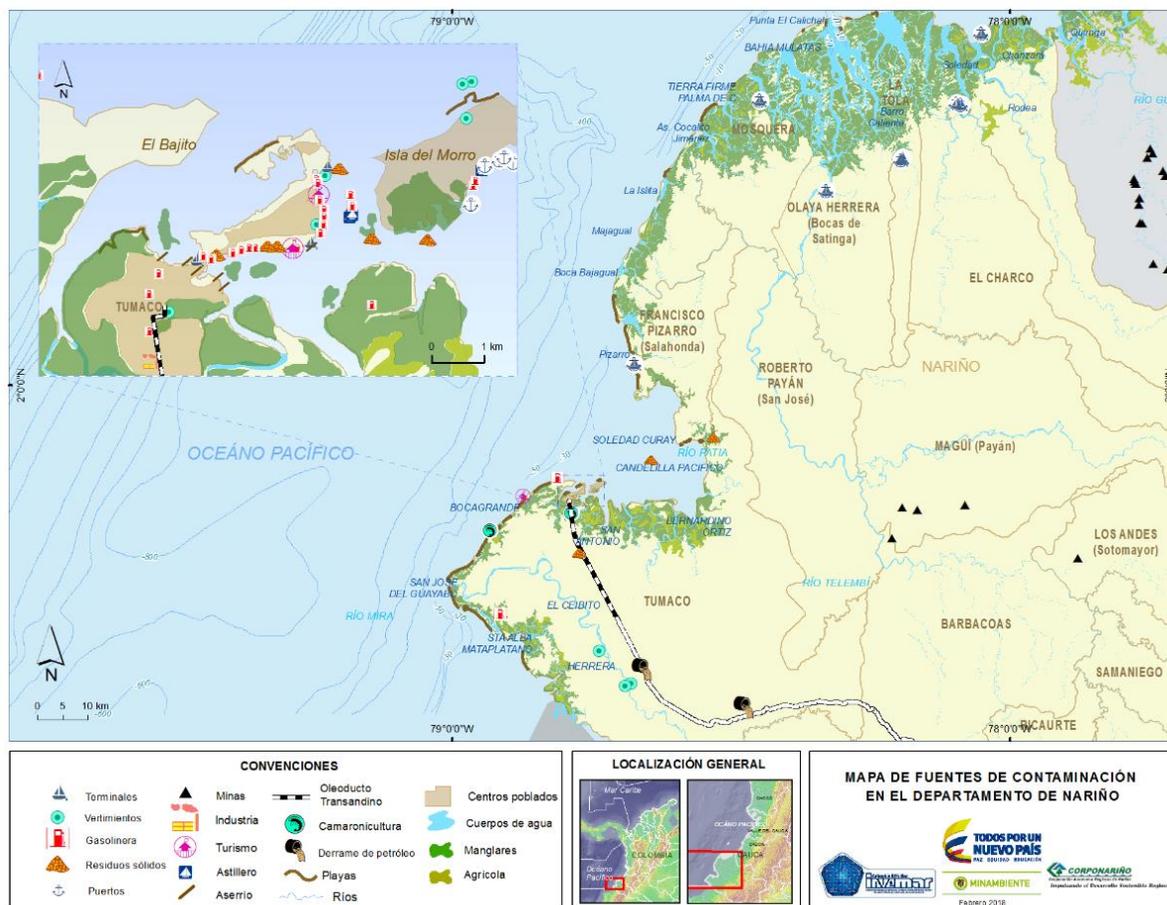


Figura 1.26. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Nariño, Pacífico colombiano.

Tabla 1.12. Actividades productivas, fuentes y residuos contaminantes que afectan la calidad ambiental marina y costera en el departamento de Nariño. Tomado de [INVEMAR et al. \(2017\)](#).

Actividad / Fuente Contaminante	Sustancias contaminantes	Receptor
Residuos de la población	Nutrientes, microorganismos de origen fecal, plásticos y otros residuos sólidos, materia orgánica, sólidos suspendidos totales, hidrocarburos, grasas y aceites, lixivados.	Ríos y esteros del departamento, bahía de Tumaco, océano Pacífico.
Aguas residuales de siete municipios costeros (El Charco, La Tola, Francisco Pizarro, Mosquera, Olaya Herrera, Tumaco y Santa Bárbara). Botaderos a cielo abierto, relleno sanitario Buchelly, vertimiento de residuos a ríos y esteros		
Descargas de tributarios	Sólidos en suspensión, materia orgánica, nutrientes inorgánicos, microorganismos de origen fecal, residuos de plaguicidas, hidrocarburos y residuos sólidos.	Océano Pacífico

Actividad / Fuente Contaminante		Sustancias contaminantes	Receptor
Derrames de hidrocarburos	Derrame de petróleo crudo del Oleoducto transandino, extracción ilegal de petróleo de oleoducto, accidentes de buques y de operaciones de cargue de buques con combustible	Hidrocarburos del petróleo, residuos oleosos peligrosos.	Río Mira, Rosario y Patía, bahía de Tumaco, océano Pacífico.
Actividades marítimas y portuarias	Residuos de la actividad marítima y portuaria, tráfico de embarcaciones, expendio de combustibles, terminales portuarios y muelles para embarcaciones	Hidrocarburos, aguas de lastre y de sentina, grasas y aceites, microorganismos	Ríos del departamento, bahía de Tumaco, océano Pacífico.
Otras actividades productivas y socioeconómicas	Agricultura (cultivos de palma de aceite, café, caña panelera, cacao, caucho, tabaco y cultivos ilícitos).	Sólidos suspendidos, materia orgánica, nutrientes, plaguicidas.	Ríos del departamento y océano Pacífico.
	Pesca y camaronicultura	Residuos sólidos, materia orgánica	Ríos y esteros del departamento, la bahía de Tumaco y el océano Pacífico
	Turismo en playas	Residuos sólidos, materia orgánica, nutrientes, microorganismos de origen fecal, sólidos en suspensión, hidrocarburos.	océano Pacífico
	Comercio	Residuos sólidos, aguas residuales, materia orgánica, nutrientes, grasas y aceites.	Ríos y esteros del departamento, océano Pacífico

1.4 CASO DE ESTUDIO 2017: DEPARTAMENTO DE CHOCÓ

El departamento de Chocó se ubica al occidente de Colombia y cuenta con áreas marino costeras en el Caribe y en el Pacífico. Es una de las zonas más lluviosas del país, con precipitaciones promedio multianuales entre 3.000 y 9.000 mm ([IDEAM, 2017c](#)). En estas áreas marinas se desarrollan ecosistemas estratégicos como los manglares, playas, estuarios, pastos marinos, formaciones coralinas y acantilados, entre otros ([IDEAM et al., 2007](#)) que resguardan una alta biodiversidad y proveen a la población costera del departamento bienes y servicios ambientales importantes para su bienestar. Sin embargo, estos ecosistemas se ven afectados por factores de degradación ambiental, como el crecimiento poblacional, el inadecuado manejo de residuos, la contaminación y la explotación irregular de los recursos ([INVEMAR, 2017d](#)).

Con el propósito de identificar las principales actividades y fuentes de contaminación marina en el Chocó, se revisó información secundaria disponible en la web y solicitada a las entidades administrativas municipales y a la Corporación Autónoma para el Desarrollo Sostenible del Chocó - CODECHOCÓ; y se realizó una salida de campo entre los días 27 de agosto y 05 de septiembre de 2017 en la zona costera de Chocó Pacífico, en la cual se visitaron los municipios de Nuquí, Bahía Solano y Juradó (Figura 1.27). En estas visitas se hicieron entrevistas a funcionarios de las alcaldías municipales y empresas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios, propietarios de hoteles y personal de la comunidad, para conocer el manejo de los residuos municipales y las actividades productivas que se desarrollan en la zona costera.

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

Además se hicieron recorridos para verificar y geoposicional las actividades y fuentes de contaminación marina.

Como resultado del análisis de la información, se determinó que las principales fuentes de contaminación en la zona costera del departamento de 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 1.28, Figura 1.29). En la Tabla 1.13 se resumen las actividades productivas, fuentes y residuos de contaminantes que ingresan a las aguas marinas y costeras del departamento y que afectan su calidad para la preservación de flora y fauna, y para uso recreativo, entre otros; y Figura 1.30 se muestra la distribución geográfica de las mismas.



Figura 1.27. Actividades realizadas durante la salida de campo a la zona costera de Chocó Pacífico. A) visita a empresa aguas de Juradó; B) visita Triple A S.A en Nuquí C) Basurero a cielo abierto en Bahía Solano y D) asentamiento indígena en Coquí. Fotografías: Ostin Garcés y Paola Obando.

Tabla 1.13. Actividades productivas, fuentes y residuos contaminantes que afectan la calidad ambiental marina y costera en el departamento de Chocó. Fuentes de información: Alcaldía de Unguía (2017), Alcaldía de Bahía Solano (2017), entrevista Alcaldía de Nuquí, Servicios Públicos de Juradó, Acuabahía Triple A S.A., Triple A S.A. Nuquí.

Actividad / Fuente Contaminante		Contaminantes	Receptor
Residuos de la población de siete municipios costeros	Aguas residuales sin tratamiento previo	Materia orgánica, microorganismos de origen fecal, sólidos suspendidos y sedimentables, nutrientes inorgánicos, metales pesados, hidrocarburos, grasas y aceites, plásticos y otros residuos sólidos.	Ríos Nuquí, Valle, Jella, Baudó, Cupica, Pinololo, Acandí, Negro y Atrato; los esteros Coquí, Panguí, Jurubidá, Tribugá, océano Pacífico y mar Caribe.
	Residuos sólidos en botaderos a cielo abierto y relleno sanitario		
Descargas de tributarios	Ríos Nuquí, Valle, Jella, Juradó, Partadó, Borojó, Boroboro, Chorí, Panguí, Pavasa, Catripe,	Sólidos suspendidos, materia orgánica, nutrientes, microorganismos,	Océano Pacífico y mar Caribe.

Actividad / Fuente Contaminante		Contaminantes	Receptor
	Purricha, Piliza, Usagará, Capiro, Orpua, Baudó, Tocoromá, San Juan, Cupica, Pinololo, Acandí, Negro y Atrato; los esteros Coquí, Panguí, Jurubidá, Tribugá,	hidrocarburos, metales pesados, plaguicidas, residuos sólidos.	
Actividades productivas y socioeconómicas	Minería de oro, cobre y agregados pétreos	Aguas residuales de la minería, sólidos suspendidos, metales pesados y minerales, cianuro, otros contaminantes orgánicos usados en la minería.	Ríos Atrato y San Juan, océano Pacífico.
	Agricultura: cultivo de papa, haba, maíz, coco, plátano, cacao, caña.	Nutrientes, plaguicidas, sólidos suspendidos, materia orgánica.	Océano Pacífico
	Ganadería de bovinos, cría de cerdos.	Materia orgánica, sólidos suspendidos, microorganismos fecales, nutrientes.	Ríos Valle y San Juan, océano Pacífico.
	Turismo de naturaleza en áreas marinas	Residuos sólidos, aguas residuales, microorganismos de origen fecal, plaguicidas, hidrocarburos.	Océano Pacífico
	Comercio local, aserraderos	Residuos plásticos, orgánicos y otros residuos sólidos, agua residual, plaguicidas e hidrocarburos.	Ríos del departamento y océano Pacífico.
	Marítimo: tráfico de embarcaciones comerciales, de carga y transporte de pasajeros	Hidrocarburos, residuos oleosos y sólidos.	Ríos y océano Pacífico



Figura 1.28. Residuos de la población: relleno sanitario (A) y vertimiento de aguas residuales (B) de la población de Juradó, y botadero de residuos sólidos de Nuquí (C) y vertimiento de agua residuales de Panguí.

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



Figura 1.29. Actividades socioeconómicas que se realiza en la zona costera de Chocó, Pacífico. Marítimas en Bahía Solano (A), aserrío (B), criadero de porcinos (C), ganadería (D), secado de arroz en Tribugá (E) y turismo en Guachalito (F). Fotos: Ostín Garcés.

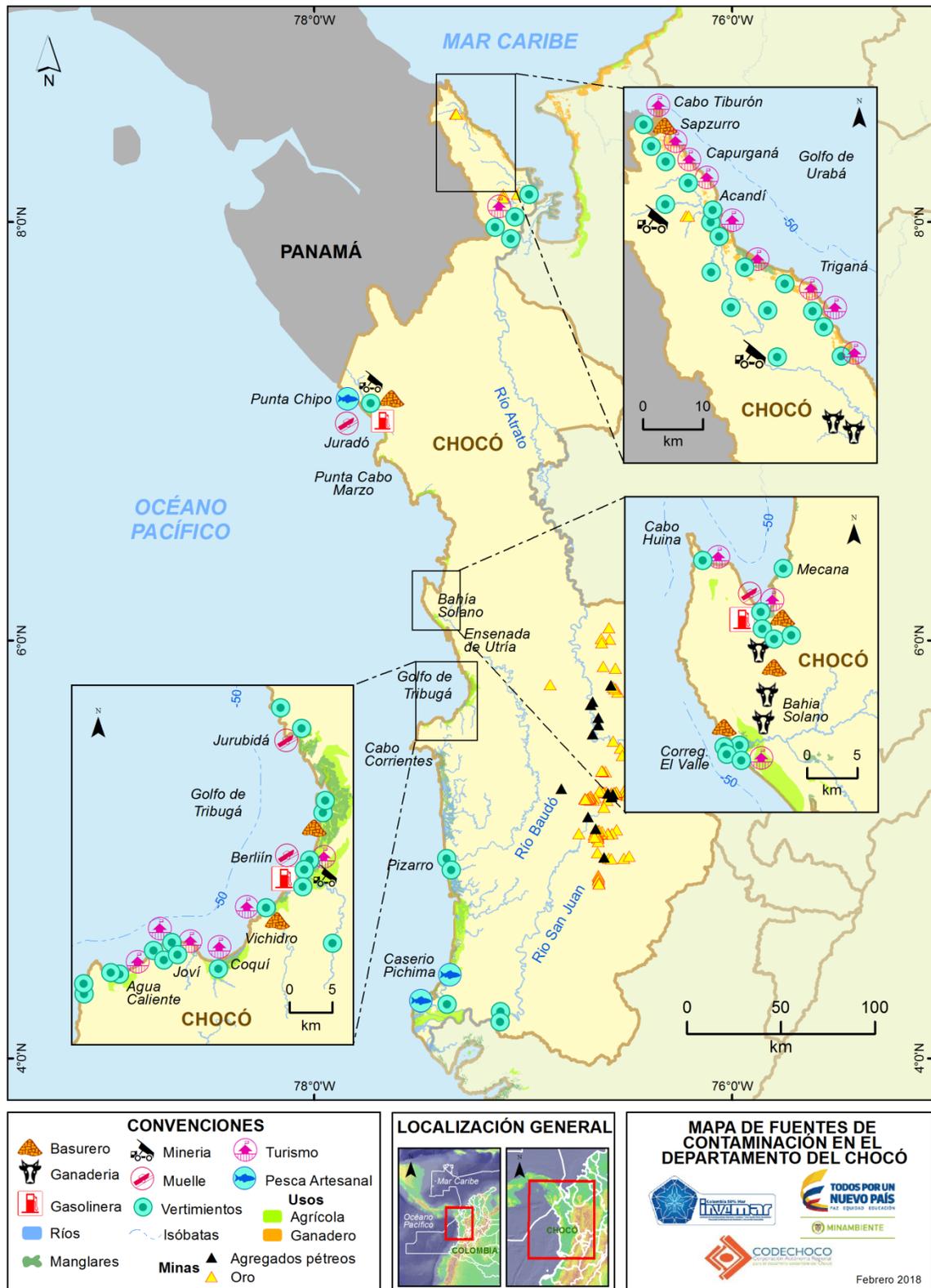


Figura 1.30. Mapa de la distribución de ecosistemas marino-costeros, centros poblados, actividades antropogénicas y fuentes terrestres y marinas de contaminación en el departamento de Chocó, regiones Caribe y Pacífico colombiano.

1.4.1 Residuos de la población costera

Administrativamente el departamento de Chocó se subdivide en 32 municipios, de los cuales siete son costeros: Acandí y Unguía, en el Caribe; y Juradó, Bahía Solano, Nuquí, Bajo Baudó y Litoral del San Juan, en el Pacífico. La población costera estimada a 2017 por [DANE \(2017\)](#) en estos municipios, es de 79.659 habitantes, de los cuales el 68% se ubica en las áreas rurales y el 22% en las cabeceras municipales (Figura 1.31).

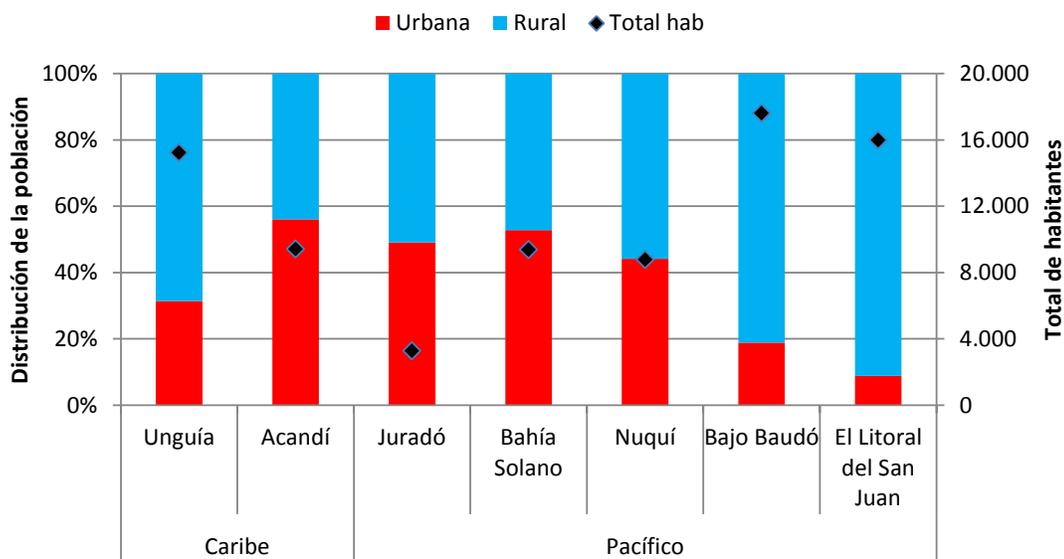


Figura 1.31. Distribución de la población en las zonas urbana y rural de los municipios costeros del departamento de Chocó. Fuente: Proyección poblacional DANE 2005-2020.

En estos municipios costeros, los servicios básicos domiciliarios son precarios y el saneamiento básico es deficiente o inexistente ([Superservicios, 2015; 2016](#)). Esta situación ocasiona que los residuos generados lleguen a los cuerpos de agua naturales ocasionando contaminación. Estos residuos pueden contener materia orgánica, nutrientes inorgánicos, metales pesados, sólidos en suspensión, plásticos, plaguicidas, y microorganismos de origen fecal, entre otros que deteriora la calidad de las aguas y restringe su uso ([INVEMAR, 2017d](#)).

En el municipio de Acandí, el acueducto cubre el 71% de la población, el agua para consumo no es tratada ([Mena et al., 2015a](#)). El servicio de alcantarillado es nuevo y no todas las viviendas están conectadas al mismo y las aguas residuales recolectadas por el alcantarillado no son tratadas y se vierten en cuerpo de agua natural cercano a la población, generando problemas de contaminación; las viviendas no conectadas al alcantarillado disponen las aguas residuales sanitarias en pozos sépticos o letrinas o en el campo abierto ([Mena et al., 2015a](#)). Los residuos sólidos son inadecuadamente dispuestos en botaderos a cielo abierto, quemados, enterrados o arrojados en las playas del departamento en donde se acumulan (Figura 1.32; [Vega, 2010](#)).



Figura 1.32. Residuos sólidos en la playa de Acandí. Fotos: Victoria Castillo y Ramiro Rueda.

En el municipio de Unguía, el abastecimiento de agua se hace de la parte alta del río Unguía, funciona por gravedad y no cuenta con planta de tratamiento para la potabilización ([Alcaldía Municipal de Unguía, 2017](#)). La producción estimada de residuos sólidos es de 762,13 Kg/día, los cuales son recolectados dos veces a la semana por la empresa de servicios públicos del municipio, utilizando volquetas y tractores, transportándola al botadero municipal a cielo abierto ubicado en la vereda de Hipeti. Parte de los residuos generados son vertidos directamente al río Tanela que circula por el corregimiento de Balboa y desemboca en el río Atrato, y los residuos también son vertidos al río Unguía, que desemboca en la ciénaga de Unguía y al río Atrato. Los residuos hospitalarios peligrosos alcanzan los 19,37 Kg/día, los cuales son recolectados mensualmente por una empresa especializada que se encarga del tratamiento y disposición final. Las aguas residuales son dispuestas en pozas sépticas, en la red de alcantarillado y en cuerpos de agua naturales ([Alcaldía de Unguía, 2017](#)).

En la visita de campo al municipio de Juradó, y de acuerdo a la información brindada por el gerente de la empresa de Servicios Públicos de Juradó, la cabecera municipal cuenta con servicios de acueducto, alcantarillado y de aseo que cubren cerca de 800 viviendas. El acueducto distribuye para consumo el agua recolectada en las quebradas El Barrero y Punta Brava, sin tratamiento. Las aguas residuales domésticas son colectadas por una red de alcantarillado que conduce estos residuos a una planta (Figura 1.33A y B), donde recibe tratamiento primario y posteriormente es vertida al río Juradó. Los residuos sólidos que se generan son recolectados dos días a la semana y son dispuestos en el relleno sanitario Boca Vieja que se encuentra en el margen izquierdo cerca de la desembocadura del río Juradó, el cual entró en funcionamiento en el año 2017 (Figura 1.33C). En el municipio no se cuenta con programas de reciclaje.



Figura 1.33. Planta de tratamiento aguas residuales (A), vertimiento en el río Juradó (B) y relleno sanitario (C) en la cabecera municipal de Juradó, Chocó. Fotos: Ostin Garcés.

En el municipio de Bahía Solano, la empresa Acuabahía Triple A S.A. es la encargada de prestar los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo ([Alcaldía de Bahía Solano, 2017](#)). En este municipio la producción de residuos alcanza los 49,9 Ton/mes, los cuales son relectados dos veces por semana en una volqueta que transporta y dispone los residuos en el botadero de cielo abierto que se encuentra en la vía que comunica Bahía Solano con el corregimiento del Valle (Figura 1.35A y B), en donde algunas veces son quemadas ([Alcaldía de Bahía Solano, 2017](#)). Los residuos peligrosos del municipio son recolectados por la empresa RH. S.A.S. quien se encarga de enviarlos cada tres meses a Buenaventura, Valle del Cauca, para su tratamiento y disposición final ([Alcaldía de Bahía Solano, 2017](#)).

Como consecuencia de la inadecuada disposición de los residuos de las actividades domésticas y comerciales, éstos se han acumulado en algunas playas, como la municipal y la de Almejal (Figura 1.34) convirtiéndose en basura marina ([Garcés-Ordóñez et al., 2017](#)). Como respuesta al problema de la acumulación de basura marina en las playas, la Alcaldía Municipal de Bahía Solano, junto con los centros educativos, Organizaciones de la Sociedad Civil, instituciones ambientales, entidades públicas y privadas de orden local, regional, nacional e internacional, han desarrollado la iniciativa de educación y sensibilización ambiental ciudadana, MI PLAYA LIMPIA MI BAHIA SOLANO LIMPIO, la cual tiene como propósito estimular la participación de la comunidad en el manejo adecuado de los residuos sólidos y con ello contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población solaneña, dando cumplimiento al derecho constitucional de gozar de un ambiente sano ([Alcaldía de Bahía Solano, 2017](#)).



Figura 1.34. Basura marina en las playas de la cabecera municipal Bahía Solano (A) y playa Almejal (B). Fotos: Ostín Garcés.

Las aguas residuales son recolectadas por la red de alcantarillado y bombeadas a la planta de tratamiento primario (Figura 1.35C) y vertidas al río Jella ([Alcaldía de Bahía Solano, 2017](#)). Como resultado del vertimiento de las aguas residuales de la cabecera municipal en el río, se ha evidenciado a través del monitoreo REDCAM una contaminación microbiológica elevada, con concentraciones de coliformes totales entre 7.800 y 2.400.000 NMP/100 mL y coliformes termotolerantes entre 2.300 y 540.000 NMP/100 mL ([INVEMAR, 2017a](#)), valores que han superando los criterios de calidad para uso del agua por contacto primario y secundario (5.000 NMP/100 mL) según el Decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)). Asimismo en las aguas del río se han registrado concentraciones elevadas de nutrientes inorgánicos disueltos como amonio ($2-375 \mu\text{g NH}_4^+/\text{L}$), nitratos ($3-245 \mu\text{g NO}_2^-/\text{L}$) y ortofosfatos ($4-242 \mu\text{g PO}_4^{3-}/\text{L}$), oxígeno disuelto entre 4 y 7 mg/L y sólidos suspendidos entre 6 y 142 mg/L ([INVEMAR, 2017a](#)) que en parte provienen de las aguas residuales.

El corregimiento del Valle, que se ubica en los márgenes de la cuenca baja del río Valle, no tiene redes de alcantarillado, por lo cual según la Alcaldía de Bahía Solano, el 80% de la población tiene pozo séptico y el porcentaje restante vierte sus aguas residuales directamente a los zanjones que drenan al río Valle ([Alcaldía de Bahía Solano, 2017](#)). En el río Valle, la REDCAM ha registrado concentraciones de coliformes totales entre 2.300 y 1.300.000 NMP/100 mL, coliformes termotolerantes entre 200 y 170.000 NMP/100 mL ([INVEMAR, 2017a](#)) que superan los criterios de calidad para el uso recreativo del agua ([MinSalud, 1984](#)), indicando contaminación microbiología que afecta en algunos casos la calidad del agua en la playa Almejal. En esta playa los coliformes termotolerantes han fluctuado entre 23 y 3.500 NMP/100 mL, y en el 30% de las mediciones realizadas en el marco de la REDCAM, la calidad ha sido inadecuada para el uso recreativo por contacto primario al superar los 200 NMP/100 mL ([MinSalud, 1984](#)).



Figura 1.35. Botadero a cielo abierto (A y B) y planta de tratamiento de aguas residuales de Bahía Solano. Fotos: Ostin Garcés y Paola Obando.

En Nuquí los servicios públicos domiciliarios de agua potable y saneamiento básico son prestados por la empresa Triple A ([Alcaldía de Nuquí, 2016](#)). En este municipio se tiene servicio de acueducto que proporciona a 860 familias el agua para consumo, la cual se capta de la Quebrada Zapayal y no recibe tratamiento de potabilización ([Alcaldía de Nuquí, 2016](#)). Los residuos sólidos del municipio se recolectan en un tractor dos veces a la semana, los cuales son enterrados en celdas ubicadas a 50 m de la playa (Figura 1.36). Una parte de los residuos no recolectados por el servicio de aseo, son vertidos directamente al río Nuquí y por acción de la marea estos se acumulan en la playa de Nuquí convirtiéndose en basura marina, conformada especialmente por plásticos. De acuerdo al estudio realizado por Garcés-Ordóñez *et al.* (2017) los tipos de residuos plásticos más numerosos en la playa de Nuquí son de un solo uso, es decir, empaques de productos, pañales y pitillos, entre otros. Estos residuos por acción de las condiciones ambientales se fragmentan y se convierten en microplásticos; cuya abundancia reportada para esta playa es de $5,8 \pm 5,6$ microplásticos/m² y de $0,09 \pm 0,06$ microplásticos/m³ ([Garcés-Ordóñez *et al.*, 2017](#)). Debido a la acumulación de basura marina en la playa de Nuquí, en septiembre de 2017 se llevó a cabo la jornada Colombia Limpia, “Mi Nuquí limpio” liderado por MinAmbiente, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo y la Fundación Mano Cambiada y con la participación de otras instituciones, en la cual recolectaron cerca de 15 toneladas de residuos sólidos ([MinAmbiente, 2018](#)). Cabe destacar que para combatir esta problemática, se han realizado actividades de educación ambiental, instalación de canecas y establecimiento de una red de reciclaje.



Figura 1.36. Residuos sólidos de Cabecera municipal de Nuquí (A y B), playa de Nuquí. Fotos: Triple A Nuquí y Ostin Garcés.

El sistema de alcantarillado en la cabecera municipal de Nuquí es un solo tubo que recoge las aguas residuales del 80% de población, y la vierte directamente al río Nuquí sin ningún tratamiento. El resto de la población utiliza pozo séptico o vierte sus residuos sanitarios directamente al río. De acuerdo con el monitoreo REDCAM el vertimiento de aguas en el río Nuquí ha contaminado microbiológicamente esta fuente hídrica, las concentraciones de coliformes totales han oscilado entre 1.700 y 330.000 NMP/100 mL, y concentraciones de coliformes termotolerantes entre 450 y 160.000 NMP/100 mL ([INVEMAR, 2017a](#)), valores que superan el criterio de calidad para el uso recreativo del agua por contacto primario y secundario ([MinSalud, 1984](#)). Los nutrientes como el nitrato y los ortofosfatos se han registrado en valores entre 1 y 523 $\mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$ y entre 1 y 230 $\mu\text{g PO}_4^{3-}/\text{L}$, y los sólidos suspendidos han estado en concentraciones entre 3 y 1.686 mg/L ([INVEMAR, 2017a](#)), condiciones causada en parte por el vertimiento de aguas residuales.

En el corregimiento de Panguí (Figura 1.37A), municipio de Nuquí, de acuerdo con la información suministrada por la comunidad, existen cerca de 80 familias, y se prestan los servicios de acueducto y alcantarillado en malas condiciones ([Alcaldía de Nuquí, 2016](#)). La población capta el agua para consumo del río Chicuí y de las lluvias. Para mejorar la calidad del agua para consumo, la hierven y la filtran. Los residuos sólidos generados son recolectados por los mismos pobladores, debido a que no hay servicio de aseo. Una proporción considerable de estos residuos los tiran al mar, y otra parte es arrojada en botaderos satélites detrás de las viviendas (Figura 1.37B). Las casas están conectadas a un sistema de tuberías que recoge el agua residual, la cual finalmente vierte estos residuos al río Chicuí, que desemboca al océano Pacífico (Figura 1.37C y D). De acuerdo con información suministrada por la comunidad durante las entrevistas, del sistema de tuberías del alcantarillado salen malos olores y se rebosan

las aguas residuales dentro de las viviendas conectadas, lo cual representa un riesgo de salud de las personas por la exposición a estos residuos que contienen microorganismos patógenos.



Figura 1.37. Corregimiento Panguí, Nuquí (A), botadero de residuos sólidos (B), sistema de alcantarillado (C) y vertimiento de aguas residuales en el río Chicuí. Fotos: Ostín Garcés.

En el corregimiento de Coquí, Nuquí, hay cerca de 40 familias ([Alcaldía de Nuquí, 2016](#)). En la visita a este corregimiento y de acuerdo a la información suministrada por la comunidad, el agua para el consumo es captada del río Cañal y es distribuida a toda la comunidad sin tratamiento de potabilización. Los residuos son recolectados por la comunidad, separando los plásticos para el reciclaje. Una parte de los residuos sólidos recolectados son quemados y otra parte es vertida al mar. Las casas están conectadas al sistema de alcantarillado que conduce las aguas residuales hasta el estero Coquí en donde son vertidas (Figura 1.38).



Figura 1.38. Sistema de alcantarillado para la recolección de aguas residuales de la población en Panguí, y vertimiento en el estero Coquí. Fotos: Ostín Garcés.

En el corregimiento de Tribugá - Nuquí, (Figura 1.39A), se encuentran alrededor de 98 familias ([Alcaldía de Nuquí, 2016](#)). Los residuos sólidos generados en esta población son enterrados,

quemados y una parte separado para enviarlo a la red de reciclaje operado por la empresa Triple A de Nuquí. Muchos de los residuos sólidos que ingresan al mar por el río Nuquí llega por deriva a las playas de Tribugá en donde se acumulan, siendo los residuos de un solo uso los más comunes (Figura 1.39B), estos residuos generan microplásticos que también están presentes en la playa ([Garcés-Ordóñez et al., 2017](#)). No se cuenta con alcantarillado y las viviendas disponen las aguas residuales en pozos sépticos.



Figura 1.39. Corregimiento de Tribugá (A), residuos sólidos acumulados en la playa del corregimiento (B). Fotos: Ostin Garcés.

En el municipio de Bajo Baudó, la cabecera municipal es Pizarro. Los servicios públicos domiciliarios los presta la empresa Aguas del Chocó S.A. La población tiene un sistema de abastecimiento de agua para consumo que carece de una planta de tratamiento de agua potable y el servicio de alcantarillado cubre solamente el 10,6% de la población según el [DANE \(2010\)](#), por lo cual la mayoría de las aguas residuales son vertidas sin ningún tipo de tratamiento al río Baudó ([Contraloría del Chocó, 2015](#)). Los residuos sólidos generados son recolectados en una volqueta y dispuestos en el botadero a cielo abierto de Pizarro ([Contraloría del Chocó, 2015](#)).

En el municipio del Litoral del San Juan, la cabecera municipal es Santa Genoveva de Docordó. En esta población el agua de consumo es suministrado por el sistema de distribución de agua operado por la empresa ACUADOCORDÓ, la cual corresponde a una oficina asociada a la alcaldía municipal, que capta agua subterránea y la somete a un tratamiento de floculación, sedimentación, filtración y cloración; sin embargo una gran parte de la población tiene sistemas domésticos de recolección de agua lluvia ([Alcaldía Litoral del San Juan, 2011](#)). El municipio no cuenta con servicio de recolección de residuos sólidos y el 96% de la población no tiene alcantarillado, por lo cual estos residuos son vertidos directamente al río San Juan o al cielo abierto; otros mecanismos de disposición de las aguas residuales sanitarias es en pozos sépticos y en un sistema de alcantarillado ([FAO et al., 2010](#)).

1.4.2 Minería

La minería en el departamento del Chocó es una de las actividades que contamina las fuentes hídricas, el aire, el suelo, afecta negativamente la fauna y flora, genera pasivos ambientales y otros problemas sociales ([Torres et al., 2013](#)). Las aguas residuales de la minería pueden contener alta carga de sólidos suspendidos, sedimentos, metales pesados, cianuro, grasas y aceite entre otros, que afectan la calidad ambiental de los ríos y de los mares del departamento, y los ecosistemas asociados ([Mosquera, 2016](#); [INVEMAR, 2017d](#)).

De acuerdo con el Censo minero 2010-2011 del Ministerio de Minas y Energía de Colombia ([MinMinas, 2011](#)), en el departamento de Chocó hay 527 unidades de producción minera (UPM), de los cuales solo el 8% desarrollan la minería con título minero. Esto muestra que hay una alta informalidad e ilegalidad en esta actividad. Los elementos metálicos son los más explotados. Las mayores UPM son para la extracción de oro (507 UPM), platino (108 UPM), concentrado de Cobre (18 UPM) y un elemento metálico no especificado ([MinMinas, 2011](#)).

Los ríos más afectados por la minería ilegal son el San Juan que desemboca en el océano Pacífico y el Atrato que desemboca en el golfo de Urabá, mar Caribe. Según [Torres et al. \(2013\)](#) la minería ilegal en el río San Juan ha ocasionado daños ambientales como alteración de la hidromorfología e hidrodinámica, deterioro de la calidad del agua para el abastecimiento y uso en actividades humanas, introducción de contaminantes y otras sustancias químicas usadas en el proceso de explotación del oro, destrucción del bosque, erosión, pérdida de la navegabilidad por la sedimentación, y aumento de los costos en el tratamiento del agua, entre otros.

La Defensoría del Pueblo en su informe de 2015, señala los impactos ambientales ocasionados por la minería en el río Atrato, entre los cuales están contaminación por químicos usados en la actividad, cambio de color del agua, emisiones de gases producto del proceso de extracción de oro y platino, entre otros, deterioro del paisaje, alteración del cauce del río por el dragado con maquinaria pesada, aumento de las inundaciones, pérdida del recurso pesquero, disminución de la navegabilidad y efectos negativos sobre la salud humana ([Defensoría del Pueblo, 2015](#)).

La minería en el Chocó es una actividad que genera residuos de contaminantes que deterioran la calidad del agua de los ríos Atrato y San Juan, e introduce estos contaminantes al mar Caribe y océano Pacífico respectivamente. En el caso del río Atrato, con el monitoreo de la REDCAM realizado por CORPOURABA en el año 2015, se registraron concentraciones de mercurio disuelto en las aguas de la desembocadura del río, entre 0,6 y 4 µg/L, valores que representan riesgo de efectos crónicos y agudos en la biota acuática ([Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#)); [Palacio-Torres et al. \(2018\)](#) registraron concentraciones de mercurio total en peces del río Atrato que superaban el límite permisible para consumo humano (0,5 µg/g), detectaron mercurio en el cabello humano en Quibdó que osciló entre 0,02 y 116,40 µg/g y en sedimentos del río también se detectaron en bajas concentraciones, concluyendo que la minería de oro en el Chocó ha causado contaminación por mercurio que se ha magnificado, siendo un problema generalizado en el departamento que amenaza la biodiversidad y la salud humana.

1.4.3 Actividades agropecuarias

Las actividades agrícolas y la ganadería generan residuos que contienen nutrientes inorgánicos, materia orgánica, sólidos, plaguicidas y metales pesados, entre otros, que por escorrentía pueden llegar a los ríos y al mar. Estas actividades se desarrollan en diferentes escalas en los municipios costeros del departamento del Chocó. En el municipio de Acandí, 30.041 ha son áreas de cultivo perenne transitorio, 34.000 ha son de uso ganadero intensivo, 6.000 ha de ganadería en pequeñas parcelas y 23.007 ha de aprovechamiento forestal, estas actividades se concentran en la zona centro costero del municipio ([Mena et al., 2015](#)).

En Unguía, según la [Alcaldía Municipal \(2017\)](#), hay 1.250 ha de cultivo de plátano, 890 ha de arroz, 680 ha de maíz y 250 ha de ñame. Se desarrolla ganadería intensiva 47.600 ha para cría de 19.161 y 35.000 cabezas de ganado entre los cuales se encuentran toros, crías hembras y

mochas, novillos de levante, vientre y ceba. En cuanto a la pesca artesanal, se tiene un registro de 450 pescadores que realizan su labor en el río Atrato, ciénagas de Unguía, Tumaradó, Roto y Marriaga, y en el golfo de Urabá ([Alcaldía de Unguía, 2017](#)).

Las actividades productivas de Bahía Solano, inventariada por la Alcaldía municipal son la agricultura, la ganadería, el turismo y la pesca, siendo esta última actividad la más importante, debido al fácil acceso y abundancia del recurso pesquero. La agricultura se desarrolla en la cuenca del río Valle. Los productos agrícolas cultivados como el plátano, banano, cacao, caña, yuca y arroz son para el autoabastecimiento del municipio. La ganadería (Figura 1.40B) es de baja escala por las limitaciones por suelos inundados, los productos cárnicos vacunos son para el abastecimiento de la población ([Alcaldía de Bahía Solano, 2017](#)). En las viviendas que colindan con el río y la quebrada Chocotal tienen criadero de cerdos (Figura 1.40A).

En Nuquí, según la [Alcaldía Municipal \(2012\)](#) las actividades agrícolas se desarrollan en 696 ha, produciendo arroz, plátano, banano, coco, frutales, yuca, caña y maderables, las cuales son para el autoabastecimiento del municipio. En cuanto a la actividad pecuaria, el inventario de animales del plan agropecuario 2012-2015 son 267 cabezas de cerdo y 371 cabezas de ganado vacuno. En cuanto a la actividad de pesca, son 350 pescadores dedicados a esta actividad de forma artesanal ([Alcaldía de Nuquí, 2012](#)). En el corregimiento de Tribugá las familias viven de la pesca, crían animales domésticos como vacas, cerdos, gallinas, patos y pavos, y tienen para su consumo cultivos de arroz, plátano, yuca, coco, entre otros (Figura 1.40C y D). En Coquí tienen cultivos de plátano, arroz y maíz. Asimismo, realizan actividades de pesca y cría de animales domésticos. En Panguí hay presencia de cultivos de pancoger y algunas familias tienen crías de animales como gallinas, cerdos y vacas en pequeña escala.



Figura 1.40. Actividades agropecuarias desarrolladas en la zona costera de Chocó Pacífico. Porcicultura (A), ganadería de bovinos (B), cultivos de pancoger (C) y secado de granos de arroz (D). Fotos: Ostín Garcés.

1.4.4 Comercio

Como actividades comerciales consideramos aquellos establecimientos que se dedican a la venta de productos. Estas actividades son generadoras importantes de residuos sólidos, aguas residuales y otros residuos líquidos que son manejados comúnmente por las empresas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios en estos municipios.

En Unguía se encuentran registrados en la cámara de Comercio 115 establecimientos comerciales, como puestos de comida, talleres de reparación mecánica de motocicletas, peluquerías, venta de alimentos, entre otros, de los cuales el 52% se ubican en la cabecera municipal (Mena *et al.*, 2015b).

Durante la salida de campo en la zona costera de los municipios de Juradó, Bahía Solano y Nuquí en el Pacífico Chocoano, se identificaron expendios de combustible, ubicados en el margen del río Nuquí (Figura 1.41A) y del estero Jurubidá, así como estaciones de servicio de combustibles para vehículos y motocicletas en el área urbana de las cabeceras municipales de Nuquí y Bahía Solano. Estos establecimientos aportan residuos oleosos e hidrocarburos que contaminan el suelo y las aguas fluviales y marinas. En frente del río Nuquí la REDCAM determinó en el 2014 una concentración de 49 $\mu\text{g/L}$ de hidrocarburos del petróleo equivalente de crisenos y en la estación Bahía Solano (ESSO) una concentración de 14 $\mu\text{g/L}$ del mismo contaminante en los años 2001 y 2003 (INVEMAR, 2017a).

En las riberas del río Nuquí también se encontraron aserríos en donde venden madera, puertas y muebles (Figura 1.41B). El aserrín producto del procesamiento de la madera, es acumulado en el margen del río que cuando crece o la marea sube, estos residuos son arrastrados hacia los cuerpos de agua, aportando materia orgánica al sistema acuático fluvial y al océano Pacífico.



Figura 1.41. Expendio de combustible y aserradero en el río Nuquí. Fotos: Ostin Garcés y Paola Obando.

1.4.5 Turismo

El turismo de naturaleza es una de las actividades que va en aumento en los últimos años en el departamento de Chocó, debido a la riqueza natural y la cultura de la población. Según el Centro de Información Turística de Colombia -CITUR (2018), entre el 2013 y 2017 llegaron al departamento de Chocó 963.779 pasajeros en vuelos nacionales, de los cuales 11.311 pasajeros eran extranjeras no residentes en Chocó, y la cantidad de visitantes a los Parques Nacionales Naturales del departamento ha pasado de aproximadamente 3.127 a 6.822 personas (Figura 1.42). Esta actividad genera aguas residuales y residuos sólidos que continen materia orgánica,

nutrientes, sólidos suspendidos, microorganismos de origen fecal, plásticos y microplásticos entre otros, que deterioran la calidad de las aguas y restringen sus diferentes usos ([INVEMAR, 2017d](#)).

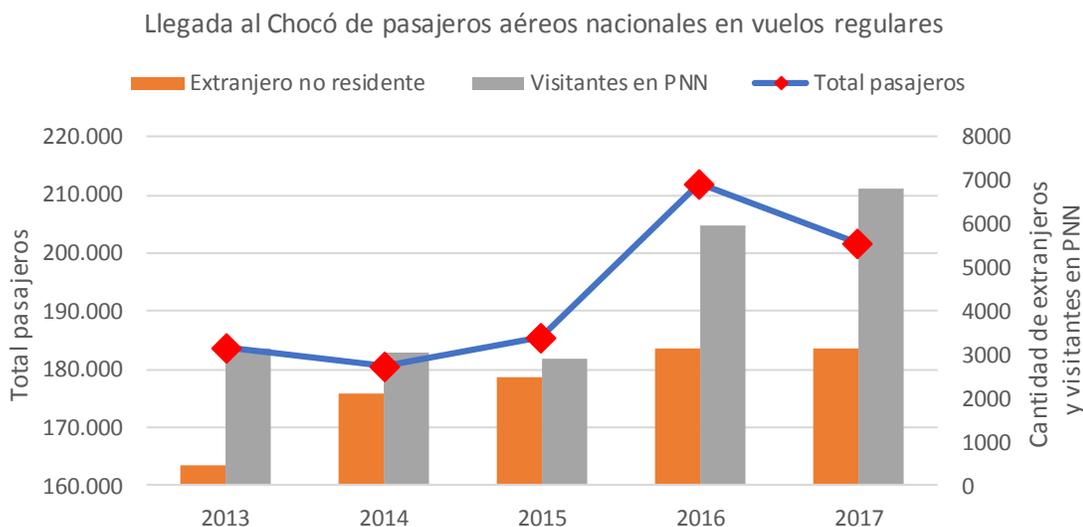


Figura 1.42. Número de pasajeros (total, extranjeros y visitantes en parques nacionales naturales PNN) que ingresan al departamento de Chocó en vuelos nacionales regulares. Fuente: [CITUR \(2018\)](#).

Acandí, Nuquí y Bahía Solano son los destinos turísticos más importantes del departamento, por la riqueza natural y belleza paisajística. En Acandí, los sitios turísticos son los sectores de Capurganá, Sapzurro, Triganá y San Antonio. En este municipio existen 24 establecimientos que prestan el servicio de hospedaje, también se hayan cabañas, fincas y viviendas familiares que reciben turistas. El reporte de turistas que visita Acandí en promedio mensual está en 462 turistas de procedencia nacional, 67 turistas internacionales y 63 turista de la región ([Mena et al., 2015a](#)).

Unguía por su parte presenta bajo desarrollo del sector de turismo, debido a la poca infraestructura y acceso, razón por la cual en la cabecera municipal se cuenta con un hotel, tres posadas turísticas, y en el corregimiento de Titumate cuenta con un hotel y una cabaña turística ([Mena et al., 2015b](#)).

En la cabecera municipal de Bahía Solano existen 10 hoteles y 16 posadas para el hospedaje de los turistas que en promedio reciben entre 20 y 60 turistas al mes, incluyendo turistas regionales, nacionales e internacionales ([Cuesta et al., 2013](#)). En Bahía Solano hay playas turísticas muy apreciadas por su belleza, entre las cuales están Huina y Almejal. En el sector de la bahía se realizan actividades de pesca deportiva.

El Parque Nacional Natural Utría, es uno de los atractivos turísticos del departamento, al cual llegaron en el 2016, 5.948 visitantes ([El Tiempo, 2017](#)). En el Parque se encuentran cabañas ecoturísticas, las cuales se abastecen de agua para consumo de la quebrada La Aguada. Los residuos sólidos que se generan del turismo son recolectados y sacados del parque con el apoyo

de los turistas quienes los disponen en Nuquí, Bahía Solano o las ciudades destino de los turistas (PNNC, 2016). A las playas del parque llegan por deriva residuos sólidos que son recolectados por el personal de parques.

El municipio de Nuquí es el de mayor potencial turístico, en promedio 7.500 visitantes por año ingresan al municipio, incluyendo turistas regionales, nacionales e internacionales (Alcaldía de Nuquí, 2016). Las temporadas altas de turismo en el municipio se dan los meses enero, semana santa, junio-octubre, los fines de semana festivos entre julio y noviembre por la temporada de ballenas, y entre abril y junio por la pesca deportiva (Alcaldía de Nuquí, 2016). La oferta de hospedaje es de aproximadamente 27 sitios entre hoteles, posadas turísticas y lodges, de los cuales el 90% se encuentra en la zona rural donde la oferta turística es mayor, la cual es administrada por las comunidades locales (Alcaldía de Nuquí, 2012; 2016).

En Guachalito, un sector de playa de importancia turística ubicada al sur de Nuquí, se encuentran cabañas donde prestan servicios turísticos de hospedaje, restaurante y recorridos de naturaleza, principalmente a extranjeros. Los residuos sólidos generados y que llegan a la playa por las mareas, son recolectados por las personas locales, quienes separan los residuos y los envían a Medellín para su aprovechamiento. El tratamiento de aguas para el consumo se realiza con productos especiales para este fin y con el uso de filtros y las aguas residuales las vierten en pozos sépticos. Utilizan paneles solares para obtener energía.



Figura 1.43. Atractivo turístico en Chocó. Avistamiento de ballenas en Bahía Solano (A), aves y zona de pesca en Cabo Marzo (B), Parque Nacional Natural Utría (C) y playa Almejal (D). Fotos: Ostin Garcés.

1.4.6 Actividades Marítimas

Debido a que en los municipios costeros de Chocó no tienen vías terrestres que los conecten, a excepción de los municipios de Acandí y Unguít que tiene una vía en mal estado ([Mena et al., 2015a](#)), el transporte de personas, productos agrícolas, ganado y mercancías en la región es por medios fluviales y marítimos, con embarcaciones con motor (Figura 1.44 (Figura 1.44A)); así como los desplazamientos hacia los atractivos turísticos desde Nuquí y Bahía Solano y las actividades de pesca también. El uso de estas embarcaciones requiere combustibles que generan residuos oleosos e hidrocarburos, entre otros, los cuales quedan en las aguas y causan contaminación.



Figura 1.44. Actividad marítima en poblaciones del departamento del Chocó. Lancha emitiendo humo y contaminantes del motor en el muelle de Bahía Solano, embarcación con mercancía en Acandí, lanchas en el muelle de Jurubidá, embarcaciones para el transporte de personas y de pescadores en el río Jella. Fotos: Archivo CAM.

DIAGNÓSTICO NACIONAL Y REGIONAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS

Paola Sofía Obando-Madera, Ramiro Rueda-Bernal y Janet Vivas-Aguas



Playa Dulce, Antioquia. Foto: Paola Obando.

2. DIAGNÓSTICO NACIONAL Y REGIONAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS

Las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombiano reciben diversas fuentes de contaminación, producto de las actividades socioeconómicas que se desarrollan, algunas de las cuales generan disposición inadecuada de residuos líquidos y sólidos, deteriorando la calidad del agua que es uno de los motores de pérdida de la biodiversidad (Alonso et al, 2015); además se encuentran influenciadas por tensores naturales, como la variabilidad climática, eventos La Niña y El Niño, y la interacción océano-atmósfera, entre otros ([IDEAM, 2016c](#); [GGWeather, 2018](#)). Adicionalmente, en las zonas marinas y costeras del país desembocan 99 ríos principales, 43 tributan en el mar Caribe y 56 en el océano Pacífico. Los principales aportes de aguas dulces en la costa Caribe provienen del río Magdalena (Canal del Dique), río Atrato y río Sinú; en el Pacífico del río San Juan, Mira y Micay ([INVEMAR, 2017e](#)).

La zona costera de la región Caribe está conformada por la **costa Caribe Insular oceánica**, compuesta por el Archipiélago de San Andrés, Providencia, Santa Catalina, sus islotes y cayos asociados; y por la **costa Continental del Caribe** de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia y Chocó, resaltando el relieve de la Sierra Nevada de Santa Marta, paisajes desérticos de La Guajira, deltas del río Magdalena, Sinú y Atrato, los golfos de Morrosquillo y Urabá, los archipiélagos de las islas del Rosario y de San Bernardo. En esta región, se concentran la mayor densidad poblacional y una mayor percepción de ocupación de playas marinas ([Hernández-Ortiz et al 2017](#)).

La **costa Pacífica**, corresponde a los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño. En la franja entre Panamá y Cabo Corrientes (Chocó), se presentan costas acantiladas por la serranía del Baudó; y desde el sur de Cabo Corrientes a Ecuador predomina una franja aluvial cubierta por manglares, un denso drenaje ocasionado por los ríos y esteros, y pequeños tramos de acantilados ([Hernández-Ortiz et al 2017](#)).

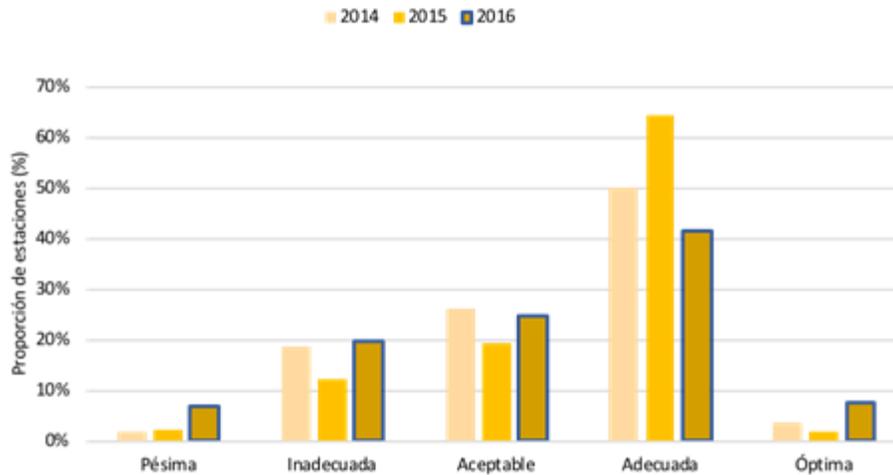
Esta diversidad de geformas de las zonas costeras son de gran importancia, ya que es allí donde se soporta una gran variedad de ecosistemas marinos y costeros que son la base para el desarrollo económico y social, en particular por la realización de actividades relacionadas con el transporte marítimo, turismo, pesca, comercio y minería ([Ramos y Guerrero, 2010](#); [INVEMAR 2017e](#)).

Con el propósito de evaluar y hacer seguimiento de las condiciones de las aguas superficiales marinas y estuarinas costeras, se desarrolló el índice de calidad de aguas marino-costeras para la preservación de flora y fauna (ICAM_{PPF}), como una herramienta para interpretar la tendencia y variaciones de la calidad del agua superficial teniendo en cuenta los momentos de muestreo, épocas climáticas y, la ubicación geográfica de los departamentos y estaciones ([Vivas-Aguas, et al 2017](#)). En este capítulo se presenta el análisis detallado de los resultados de los muestreos del año 2016, destacando que en Antioquia se hicieron 5 muestreos, comparados con las tendencias de los años 2014 y 2015.

A nivel nacional, durante el año 2016 el 7% de los sitios muestreados tuvo una calidad óptima, el 42% adecuada, el 24% aceptable y el 27 % entre pésima e inadecuada, condiciones que se presentaron durante los dos muestreos del año. El análisis comparativo con los años 2014 y 2015 (Figura 2.1) en los que se había presentado una tendencia estable alcanzando hasta el 66% de condición entre adecuada y óptima, 19% aceptable y tan solo un 15% entre pésima e inadecuada,

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

mostró que durante el 2016 aumentó en un 27 % los sitios con calidad entre pésima e inadecuada, indicando un deterioro de las características del agua superficial marino-costera. Este resultado se atribuye a la incidencia de las fuentes terrestres de contaminación al mar - FTSM puntuales y difusas, producidas por tensores antropogénicos por las actividades socioeconómicas de minería, industria, portuaria, turismo, pesca y urbanismo (Ramos y Guerrero, 2010; Arias et al 2018), dando lugar a la producción de residuos líquidos y sólidos, los cuales siguen presentando en las zonas costeras una disposición inadecuada, debido a que los sistemas de recolección, tratamiento y disposición final en los municipios costeros son precarios o inexistentes (MAVDT, 2004; Superservicios, 2016; INVEMAR, 2017d);



Año	2014	2015	2016	Tendencia	Situación actual	
Pésima	1%	2%	7%	↑	☹️	Desfavorable
Inadecuada	14%	12%	20%	↑	☹️	Desfavorable
Aceptable	17%	19%	25%	↑	😊	Recurrente
Adecuada	62%	64%	42%	↓	☹️	Poco favorable
Óptima	5%	2%	7%	↓	😊	Favorable

Figura 2.1. Tendencia comparativa de los cambios en la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PF} entre los años 2014 y 2016.

Por otra parte, el aporte de los ríos que en su recorrido sirven como vía de entrada que facilita el transporte de contaminantes que llegan a la zona costera (Escobar, 2002), es otro tensor que genera detrimento de la calidad de las aguas. Se estima que los ríos reciben el 28% de las concentraciones de DBO₅ y un 7% de SST de la industria; y el 69% de DBO₅ y 91% de SST del sector doméstico. Además el mar recibe cerca del 50% del total de nutrientes generados y no tratados, en terminos de nitrógeno y fósforo (IDEAM y MinAmbiente, 2015), lo cual está asociado al acelerado proceso de crecimiento poblacional de los últimos 30 años, estimando un crecimiento natural nacional del 12% en el periodo de 2015-2020 (DANE, 2010) y a las variaciones climáticas marcadas con el fenómeno de El Niño entre 2015 y 2016 que fue uno de los más intensos y de mayor efecto por el déficit de lluvias en el país.

En la región Caribe, los efectos sobre el recurso hídrico aumentaron durante el segundo semestre del año, época en la que se produjo un incremento de las descargas fluviales por los excesos de las precipitaciones, relacionado con el debilitamiento de El Niño y la posible consolidación de un evento La Niña débil ([GGWeather, 2018](#); [IDEAM, 2016c](#)) que se reflejó en la disminución del oxígeno disuelto, el aumento en indicadores microbiológicos, nutrientes inorgánicos disueltos (nitritos y fosfatos); y la presencia de trazas de hidrocarburos.

El análisis detallado para la zona costeras de la región Caribe (Figura 2.2), mostró que la calidad del agua en el 29 % de los sitios estuvo entre pésima e inadecuada, destacándose la tendencia pésima, principalmente en los dos muestreos de los departamentos de Sucre y en los cinco de Antioquia, este último con los resultados más desfavorables en el 74 % de los sitios, entre los cuales sobresalen las estaciones en las playas de Arboletes, Uveros y Lechugal, el muelle Armada; los frentes de los ríos Atrato, Leoncito, León y las desembocaduras de los ríos Volcán, Caimán nuevo, Turbo, San Juan, Necoclí, Damaquiel, Currulao y León (Figura 2.3, Figura 2.4). Este resultado está relacionado con la influencia de las descargas de más de 10 cuencas de tributarios en el Golfo de Urabá, donde se destaca la cuenca del río Atrato ([Castaño, 2002](#); [MMA, 2002](#)) que durante las lluvias recoge las escorrentías agrícolas procedentes de los cultivos de plátano y banano que representan el fuerte del agro del departamento ([García-Valencia, 2007](#)).

Adicionalmente, condiciones entre pésima e inadecuada se presentaron en San Andrés Islas, en los puntos del alcantarillado y la bahía el Cove; en La Guajira, en playa Mayapo, frente Rancheria y muelle Riohacha; en el Magdalena, en el emisario submarino punto 8, frente al río Gaira y la boca de La Barra; en el Atlántico, en la playa de Puerto Colombia y Punta Roca; en Bolívar, en la desembocadura del Canal del Dique, frente a caño el Loro y la escollera submarina; en Sucre en playa Tolú; y en Córdoba en Puerto Escondido y Moñitos (Figura 2.3, Figura 2.4). Estas condiciones se deben en general a la introducción de aguas domésticas residuales y lixiviados de basureros ([Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)) cercanos a las fuentes hídricas que producen incrementos en las concentraciones de nutrientes (fosfatos y nitratos), coliformes termotolerantes y sólidos suspendidos totales, aumentando la turbidez y reduciendo la disponibilidad de luz solar para el fitoplancton, las macroalgas y la producción de oxígeno en los sistemas acuáticos ([Vélez-Agudelo y Aguirre-Ramírez, 2016](#)).

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

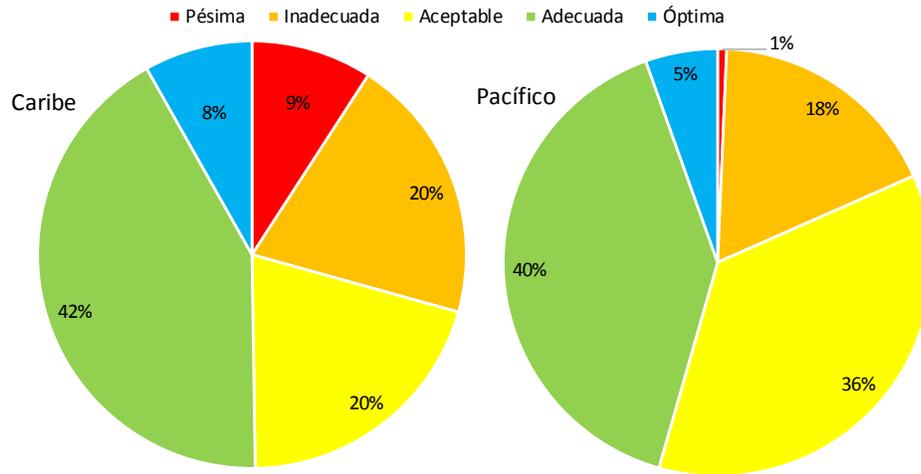


Figura 2.2. Distribución porcentual (%) de la calidad del agua marino-costera evaluada con el ICAM_{PFF} en los departamentos costeros de la región Caribe y Pacífico colombiano en el año 2016.

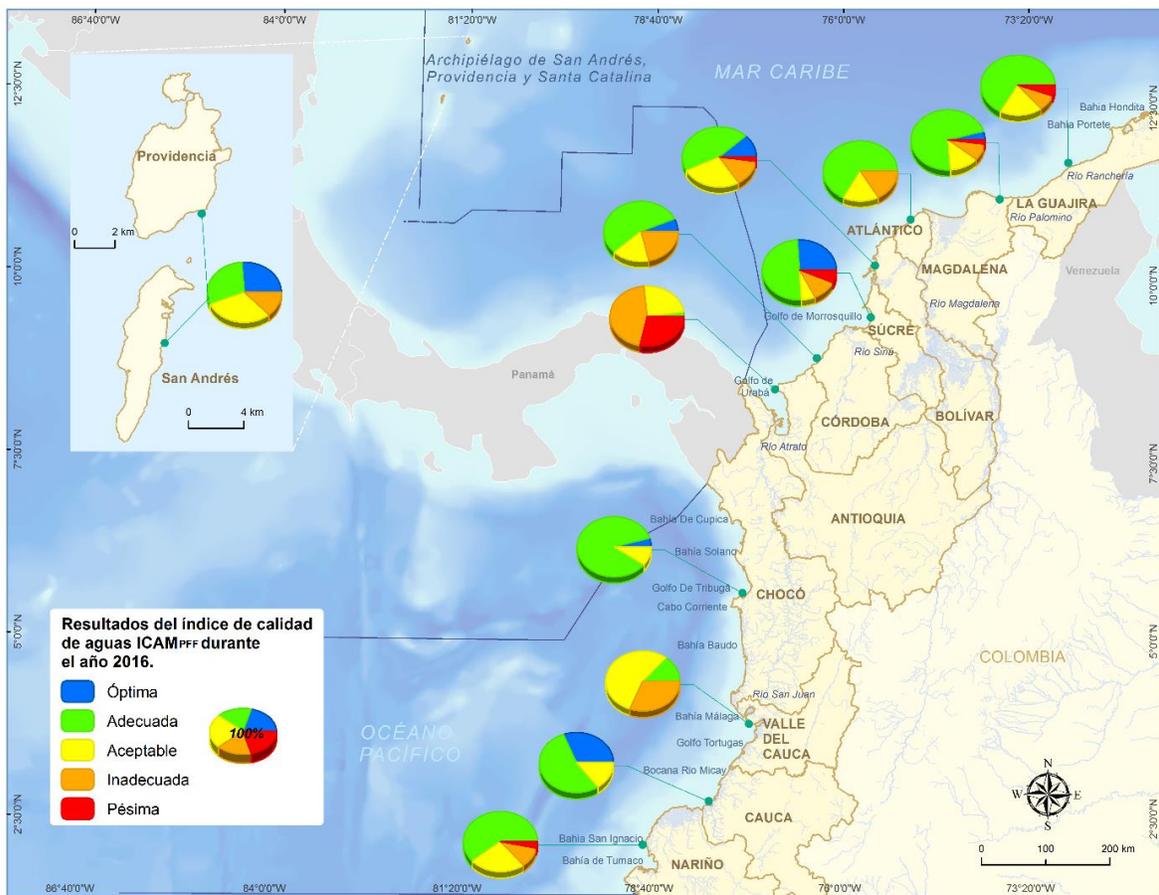


Figura 2.3. Estado de la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en los departamentos costeros de las regiones Caribe y Pacífico colombianos, durante el año 2016.

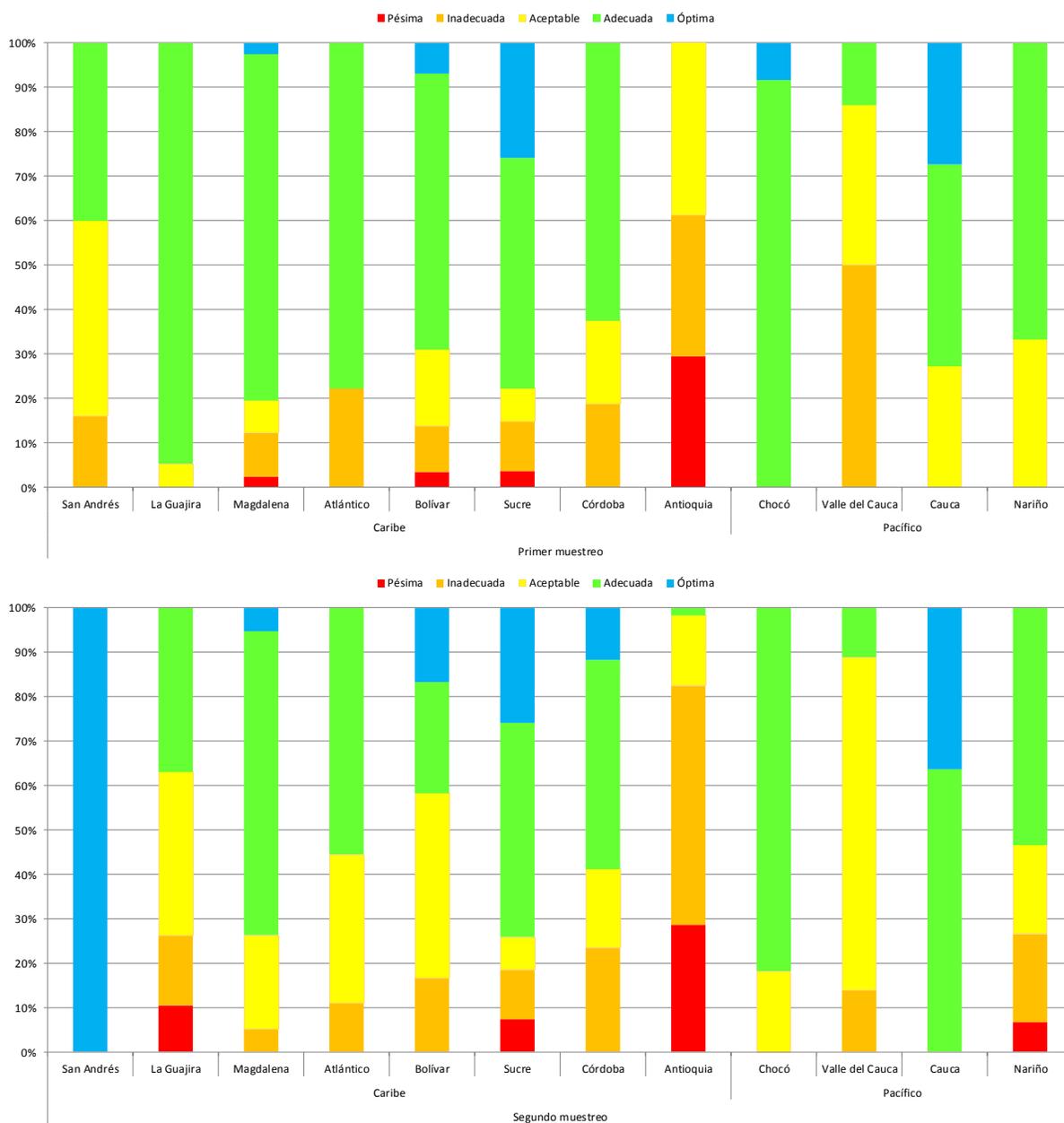


Figura 2.4. Distribución porcentual (%) de la calidad de las aguas marinas y costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} durante el año 2016 en cada uno de los departamentos del Caribe y Pacífico colombianos, de acuerdo a los resultados obtenidos en el primer y segundo muestreo.

En la costa del Pacífico, el 19 % de los sitios presentaron una calidad del agua entre pésima e inadecuada, con una mayor tendencia a condiciones inadecuadas durante el segundo muestreo del año (Figura 2.2); resultados que además de verse influenciados por los ciclos de marea, que generan cambios progresivos sobre la dinámica y flujos del agua, fueron notorios los descensos de salinidad, en particular en Valle del Cauca y Nariño (Figura 2.3, Figura 2.4) (IDEAM, 2016d; INVEMAR et al, 2006), debido al incremento de las precipitaciones que tuvieron un pico máximo en el mes de octubre, alcanzando en algunos sectores hasta 1.000 mm (IDEAM, 2016a),

sumado al aumento de las escorrentías de los ríos que atraviesan las poblaciones y áreas agrícolas ([INVEMAR et al, 2006](#)). En Nariño (Figura 2.3, Figura 2.4), la calidad del agua fue pésima en el Arco el Morro e inadecuada en las estaciones playa el Bajito, puente el Pindo y frente a Sociedad Portuaria. Estos resultados se atribuyen a la influencia directa de los vertimientos de aguas residuales que generan altas concentraciones de nitratos, sólidos suspendidos totales y coliformes termotolerantes, los cuales están asociados domésticas que llegan al mar y a esteros como “los Tulucios”. En el Valle del Cauca se presentaron condiciones inadecuadas en las diferentes estaciones de la Bahía de Buenaventura (Figura 2.3, Figura 2.4), a causa de los vertimientos domésticos sin tratamiento y la carga que recibe de múltiples tributarios ([INVEMAR et al 2006](#); [INVEMAR et al 2017](#)); y en la playa Magüipi, por el fenómeno de reflujos que se da en la bahía durante bajamar y que redirecciona las corrientes hacia el Oeste, por lo que recibe dichas aguas en su zona de playas, sumado a los aportes del estero las Cruces y los ríos Anchicayá y Potedó ([Otero, 2005](#)). Cabe resaltar que los departamentos del Cauca y Chocó presentaron condiciones entre óptima y aceptable.

A pesar de que las concentraciones de hidrocarburos no fueron determinantes en las condiciones de calidad encontradas en el año 2016, se detectaron trazas en todos los departamentos costeros, en particular en Córdoba, en Punta Bello y en Nariño, en Puente el Pindo. Su presencia se atribuye al uso de combustible y sus derivados, utilizados en el desarrollo de actividades como el tránsito de embarcaciones, venta en expendios informales de gasolina y a las escorrentías de los ríos que reciben aportes de los asentamientos humanos.

En síntesis, la calidad de las aguas superficiales marinas y costeras en el año 2016, estuvo influenciada por los efectos de las descargas de aguas residuales, escorrentías en las cuencas de los tributarios que llegan a la zona costera, precipitaciones y por eventos naturales, como el debilitamiento de El Niño y la consolidación de La Niña débil que condicionó una sequía y excesos de lluvias puntuales en algunos departamentos.

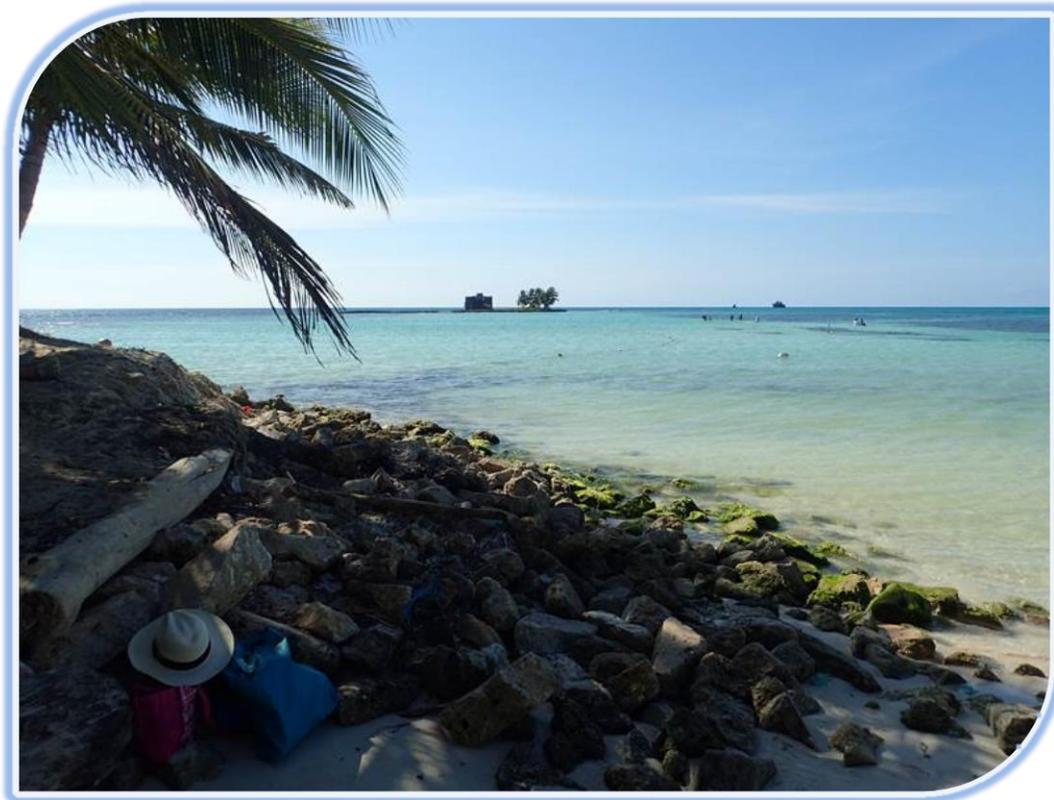
CAPÍTULOS DIAGNÓSTICOS DEPARTAMENTALES



Estero en playa de Nuquí. Foto: Ostin Garcés.

ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA

Victoria Andrea Castillo-Olaya y Mónica Rocío Bayona-Arenas



Playa de San Luis. Foto: Victoria Castillo

EQUIPO TÉCNICO CORALINA

Cindy Fortune – Coordinador de Laboratorio de Calidad Ambiental

Gillean Taylor – Microbióloga

Vida Smith – Bacterióloga

Nadia Yepes – Ingeniera Química

Olga Queeman – Técnico de campo

3. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, tiene una extensión de más de 300.000 Km² entre área insular y marina, en la que se encuentra una de las reservas marinas más grandes del mundo y con un elevado número de ecosistemas representativos de las regiones tropicales insulares, tales como arrecifes coralinos, praderas de pastos marinos, manglares, playas, cayos y bosque seco tropical, con puntos de alto endemismo, entre otros ([CORALINA-INVEMAR, 2012](#); [Santos-Martínez et al. 2009](#)). Este archipiélago es considerado como parte del hotspot de arrecifes del Caribe Occidental y parte del hotspot del Caribe terrestre ([Howard y Taylor, 2007](#)), así como una de las áreas potenciales de patrimonio de la humanidad según la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). Sin embargo, la mayor parte del archipiélago presenta un modelo de desarrollo basado principalmente en el comercio y el turismo que sumado a la baja cobertura de alcantarillado, mal manejo de los residuos sólidos, sobreexplotación de recursos pesqueros y escorrentías difusas (de fertilizantes y plaguicidas) deterioran la calidad del agua, afectando los ecosistemas marino costeros y sus servicios ecosistémicos ([Gavio et al., 2010](#); [INVEMAR, 2006](#); [Santos-Martínez et al. 2009](#)).

En el presente informe se presentan los resultados obtenidos durante los muestreos realizados entre el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017. Esta información es insumo para la gestión ambiental de CORALINA, en cuanto a la formulación de planes y programas de ordenamiento de los ecosistemas, de manera que posibilite el manejo integrado y el aprovechamiento sostenible de las aguas y sus recursos naturales asociados.

3.1 ZONAS DE MONITOREO

Para evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, la REDCAM cuenta con una red de 25 estaciones de muestreo, distribuidas en tres zonas (Figura 3.1), las cuales se describen a continuación:

La zona **norte** se caracteriza por presentar playas extensas y la zona de arrecifes de coral más amplia de la isla. En esta zona se concentra el mayor desarrollo turístico de San Andrés y gran parte de la población que habita en la isla.

En la zona **sur**, si bien no se presenta tanta densidad poblacional, se realizan actividades de buceo y transporte marítimo. En esta zona, se encuentra ubicado el relleno sanitario “Magic Garden” ([Gavio et al., 2010](#); [CORALINA-INVEMAR, 2012](#); [Garcés-Ordoñez et al., 2016](#)).

La zona de **Providencia y Santa Catalina** incluye grandes áreas de pastos marinos, formaciones coralinas y bosques de manglar, también se presentan playas intervenidas debido al turismo y con diferentes grados de erosión, debido a fenómenos físicos y al saqueo por parte de los pobladores para construcción de edificaciones ([Gamboa y Posada, 2012](#)). En relación a fuentes de contaminación, en esta zona se presentan vertimientos de aguas residuales, el relleno sanitario que opera como botadero a cielo abierto, una quebrada temporal y el muelle en la zona de unión con Santa Catalina ([Garcés-Ordoñez; et al., 2016](#)).

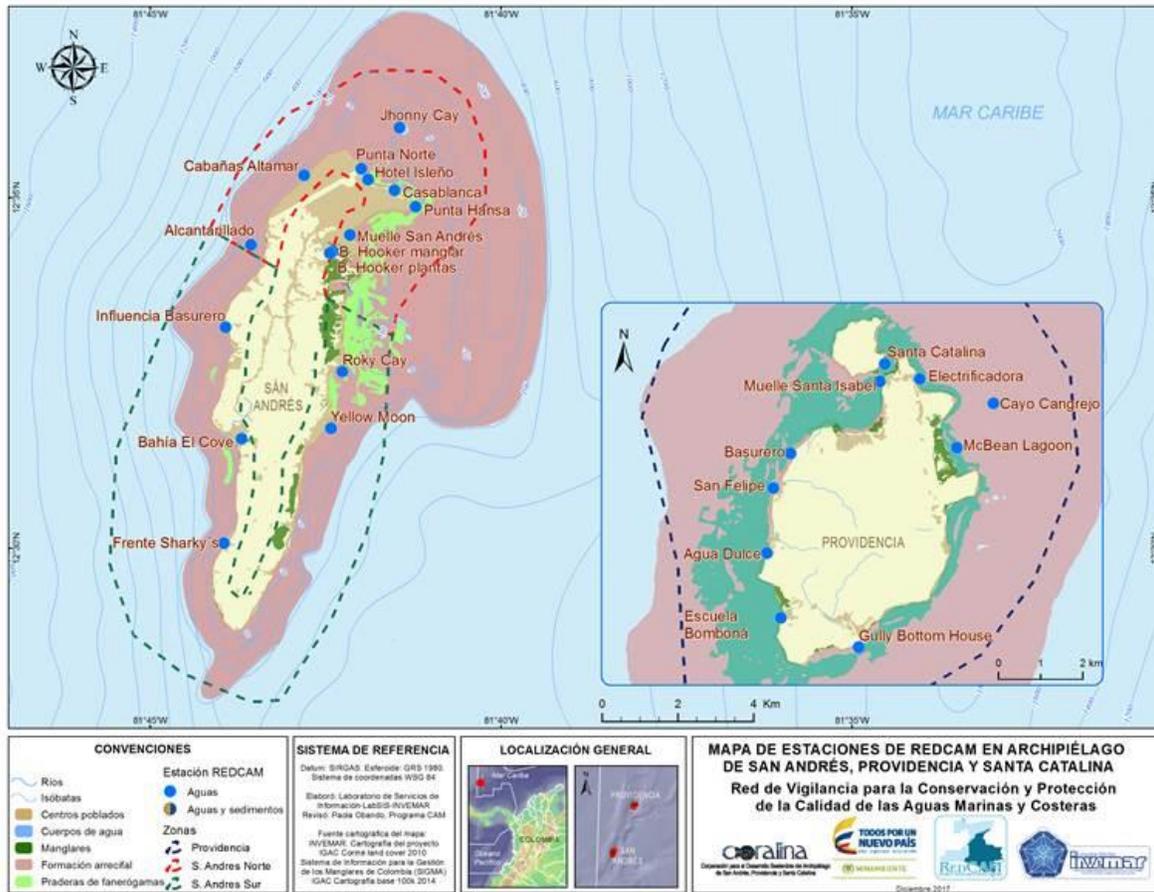


Figura 3.1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos azules y marrón con azul) en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Los muestreos fueron realizados por personal técnico de CORALINA en noviembre de 2016, en mayo de 2017 en San Andrés y en junio de 2017 en Providencia y Santa Catalina. Las precipitaciones en octubre de 2016, abril y junio de 2017 estuvieron entre 0 – 50 mm, con un valor acumulado de 150 mm en octubre de 2016, 90 mm en abril de 2017 y 180 mm en junio de 2017 (IDEAM, 2017a).

3.2 CALIDAD DE AGUAS

La temperatura del agua superficial osciló entre 28,7 y 31,1°C durante los muestreos de 2016 y 2017 en la isla de San Andrés (Tabla 5.1), con valores que se mantuvieron en el rango histórico de la REDCAM (INVEMAR, 2017a). Las estaciones con el menor valor registrado para el período 2016 – 2017 fueron Punta Norte y Jhonny Cay ubicadas en la zona norte de San Andrés y Electrificadora ubicada en Providencia (Tabla 5.1). En comparación con otros departamentos la temperatura de las aguas marinas superficiales del Archipiélago son relativamente bajas (INVEMAR, 2017b). Según Díaz *et al.* (1995), estas condiciones térmicas en las aguas

superficiales permiten el mantenimiento de gradientes verticales de temperatura óptimas para el desarrollo y mantenimiento de corales formadores de arrecifes ([Díaz et al., 1995](#)).

Tabla 3.1. Temperatura del agua superficial registrada de las estaciones REDCAM del departamento del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en noviembre de 2016, mayo y junio de 2017, valores mínimos y máximos registrados por la REDCAM. -: valores no registrados.

Zona	Estación	nov 2016	may - jun 2017	Valor mínimo histórico REDCAM	Valor máximo histórico REDCAM
San Andrés Norte	Alcantarillado emisario	29,2	29,4	28,3	29,34
	Bahía Hooker Manglar	31,1	30,6	31,7	31,8
	Bahía Hooker Planta	31,63	31,1	31,9	32,1
	Cabañas Altamar	29,2	29,5	28,6	30
	Casablanca	29,2	30	28,1	31,3
	Hotel Isleño	29,1	29,7	28,2	30,7
	Johnny Cay	29	30	28,5	30,1
	Punta Hansa	29,2	30,1	28,7	31,2
	Punta Norte	29	29,6	28,3	30,7
	San Andrés (Muelle)	30,3	30,3	29,7	31,7
San Andrés Sur	Bahía Cove	29,8	28,7	28,9	30,8
	Control frente a Sharky	29,4	29,8	28,6	30,1
	Influencia Basurero	29,3	28,5	28,8	29,4
	Rocky Cay	30	28,7	30	32,2
	Yellow Moon	29,8	28,7	29,4	31,7
Providencia y Santa Catalina	Agua Dulce Stella Batty (Paraíso)	-	28,4	27,5	29,85
	Basurero	-	28,6	28,4	28,7
	Cayo Cangrejo	-	28,7	27,7	30,8
	Electrificadora (Sopesa)	-	27,9	27,9	32
	Escuela Bomboná	-	28,5	27,7	28,6
	Gully Bottom House	-	29,9	27,6	31
	Mc Bean Lagoon (Aeropuerto)	-	29,8	27,7	31,1
	Muelle Santa Isabel (Town)	-	29,6	28,1	30,9
	San Felipe (Salt Creek)	-	29,7	28,2	28,5
	Santa Catalina	-	28,7	27,8	31,8

En la Isla de San Andrés se registraron salinidades entre 34,2 y 35,9 durante el muestreo realizado en noviembre de 2016 y entre 36,0 y 37,0 en el muestreo de mayo de 2017 (Figura 3.2), lo que califica a las aguas como marinas polihalinas según lo propuesto por Knox ([2001](#)). En general, las salinidades más bajas se presentaron en el mes noviembre, asociado a mayores precipitaciones ([IDEAM, 2017a](#)), que forman drenajes intermitentes o “gullies” que desembocan en el mar ([Garzón et al., 2015](#)). Las estaciones con mayor variación de salinidad fueron las asociadas a ecosistemas de manglar, Bahía Hooker Planta y Bahía Hooker Manglar que recibe los aportes de la Cuenca Oriental, segunda cuenca de mayor importancia en la isla, ([Garzón et al., 2015](#)). En el caso de la zona de Providencia y Santa Catalina las salinidades registradas estuvieron entre 35,8 y 36,1, durante junio de 2017, lo que califica a estas aguas como marinas polihalinas ([Knox, 2001](#)).

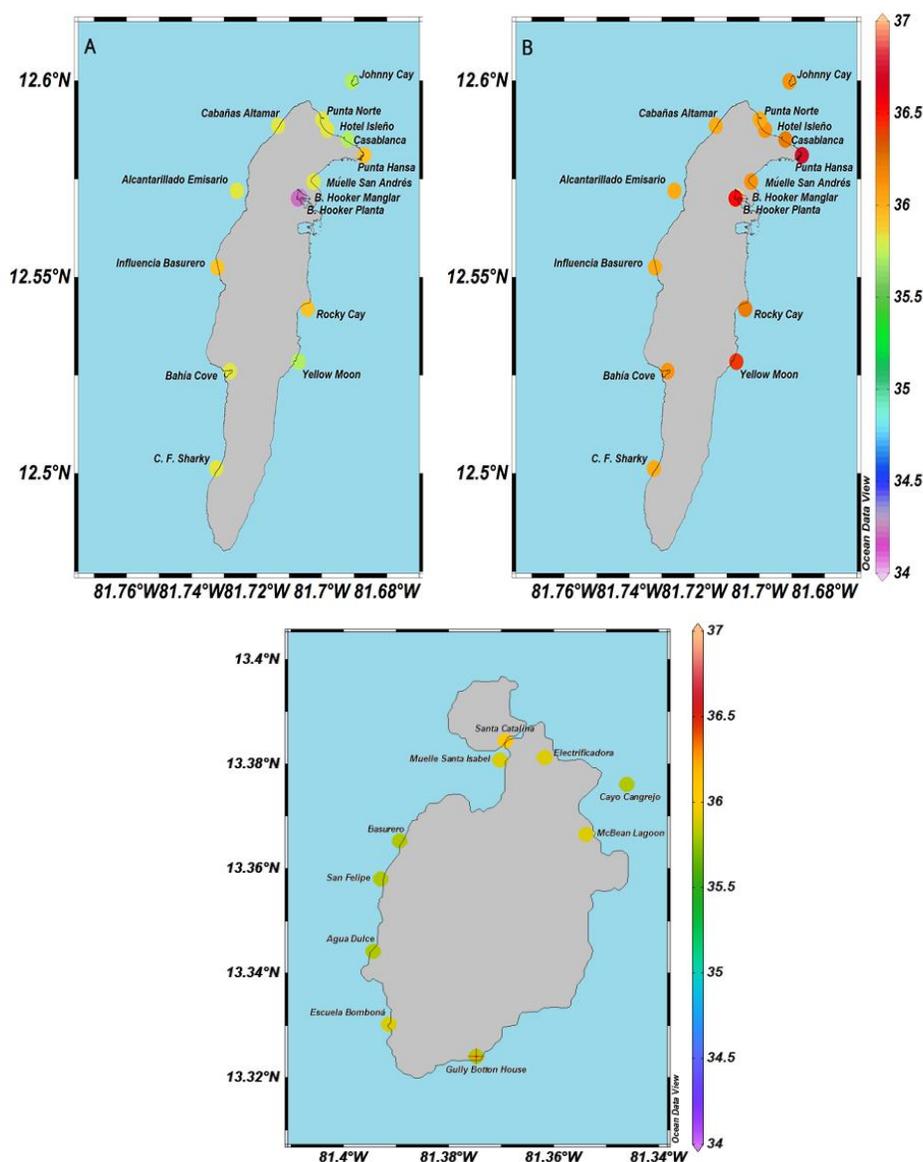


Figura 3.2. Salinidad del agua superficial en el archipiélago de San Andrés (izq.) muestreo noviembre de 2016, (der.) mayo de 2017 y (abajo) salinidad en Providencia y Santa Catalina en junio de 2017.

En cuanto al oxígeno disuelto (OD), durante el muestreo realizado en noviembre de 2016 y mayo de 2017, en las estaciones ubicadas en San Andrés las concentraciones de OD estuvieron por encima del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna (4,0 mg O₂/L; [MinSalud, 1984](#)), con excepción de la estación Influencia Basurero, ubicada en la zona sur, en la cual se registró una concentración de 1,02 mg O₂/L en mayo de 2017 (Figura 3.3). En la zona de Providencia y Santa Catalina, durante el muestreo realizado en junio de 2017, se registraron concentraciones de oxígeno disuelto entre 3,95 y 5,31 mg O₂/L (Figura 3.3), siendo la estación Gully Bottom House la que presentó la concentración más baja, incluso por debajo del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna (MinSalud, 1984).

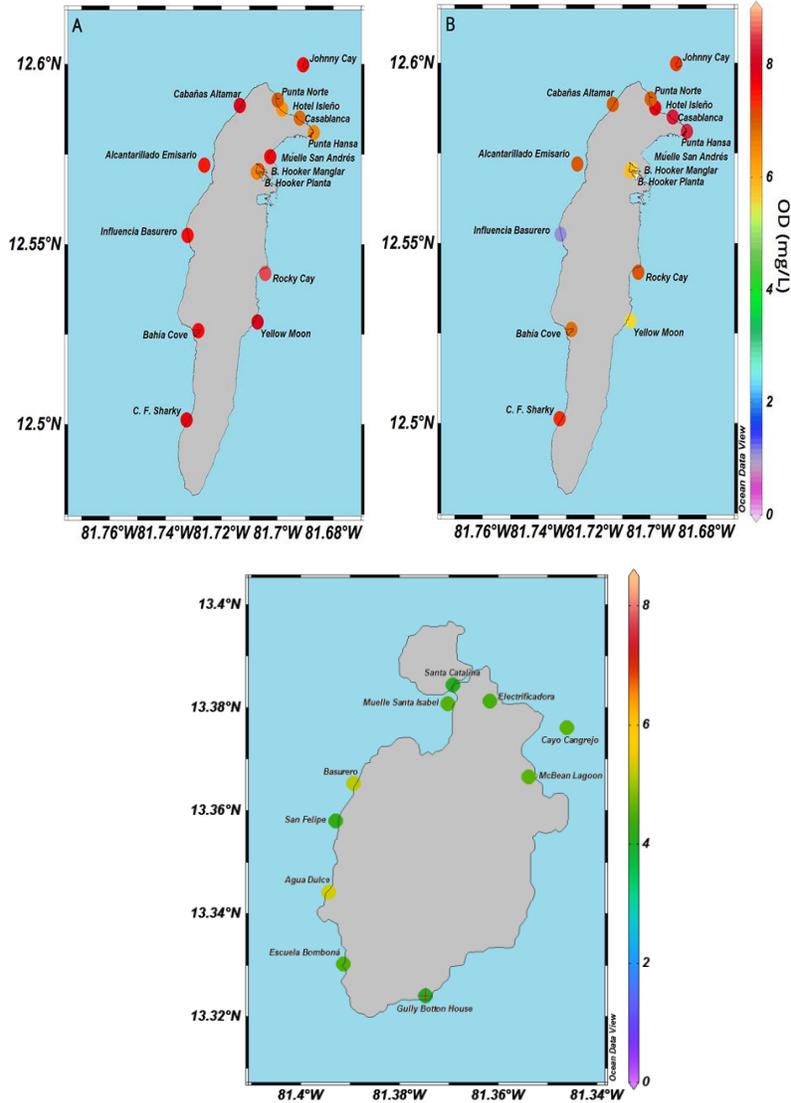


Figura 3.3. Oxígeno disuelto en las estaciones del archipiélago de San Andrés (izq.) noviembre de 2016, (der.) mayo de 2017 y (abajo) en Providencia y Santa Catalina en junio de 2017.

Las concentraciones bajas de OD, pueden ocasionar mortalidades en algunas especies marinas, así como reducir el crecimiento de las mismas o producir malformaciones en la formación de huevos y larvas, entre otros efectos en los ecosistemas, por ello es un parámetro de gran importancia para evaluar la salud de sistemas acuáticos (Breitburg, 2002; Montalvo *et al.*, 2008). Las bajas concentraciones de este parámetro habitualmente pueden estar relacionadas con el aumento de la temperatura en el ambiente así como en el aumento de la salinidad, baja actividad fotosintética (en horas antes de la puesta del sol y durante la noche), consumo respiratorio y por procesos físicos relacionados con variaciones de la presión atmosférica cerca de la superficie del agua (Massol-Deyá, 2002).

Adicionalmente, aportes de aguas sin tratamiento con altos contenidos de materia orgánica, por ejemplo producida por el vertido de aguas residuales domésticas o por escorrentías, también son factores que disminuyen las concentraciones de OD (Vivas-Aguas *et al.*, 2012). En las áreas de manglar los bajos niveles de OD pueden estar relacionados con los procesos naturales biogeoquímicos, en donde se crean condiciones anóxicas en el sedimento de fondo gracias al consumo de oxígeno por microorganismos (Parra y Espinosa, 2007; Vivas-Aguas *et al.*, 2012; Melrose *et al.*, 2007).

El registro histórico de las estaciones del Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina muestra una tendencia decreciente de las concentraciones de OD en el agua marina superficial, principalmente en la zona de Providencia y Santa Catalina, lo cual es evidencia de procesos de acumulación de material orgánico susceptible de degradación y consumo de oxígeno en los ecosistemas de manglar y áreas cercanas a vertimientos de aguas residuales o lixiviados de basureros (Figura 3.4; Vivas-Aguas *et al.*, 2012; INVEMAR, 2017a).

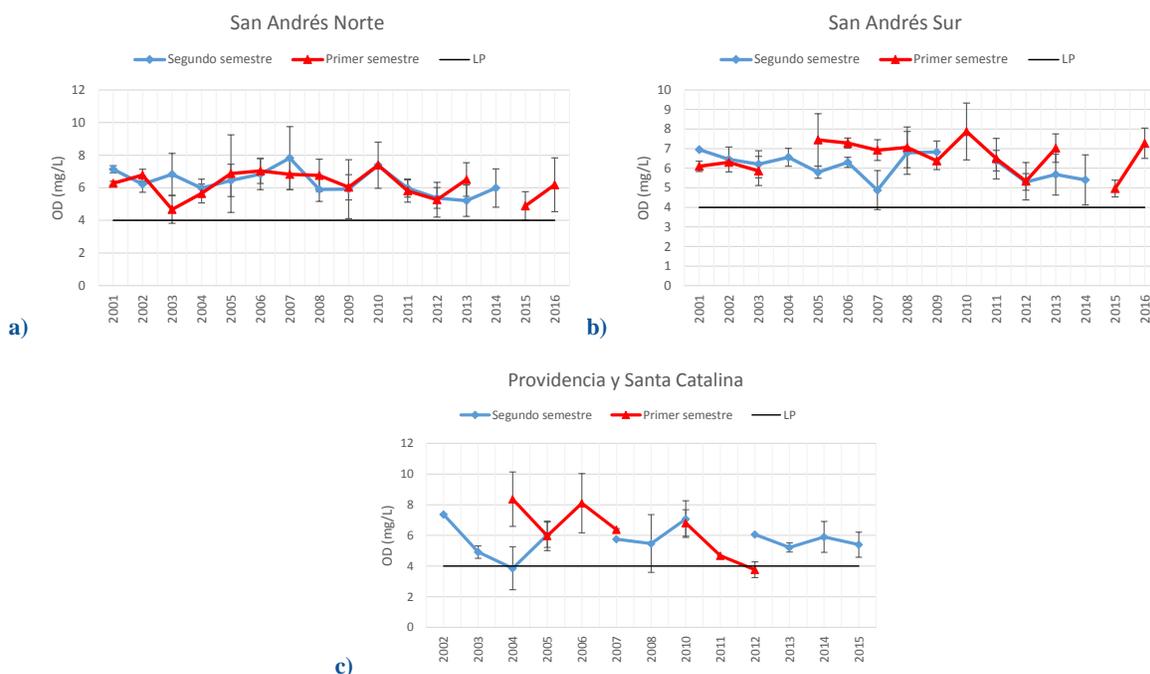


Figura 3.4. Valores promedio históricos de oxígeno disuelto en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. La línea negra indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido de 4,0 mg de O₂/L en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Los valores de pH registrados en noviembre de 2016 y mayo 2017 oscilaron entre 7,88 y 8,27 para las estaciones ubicadas en San Andrés y entre 8,09 y 8,21 en Providencia, cumpliendo con el criterio de calidad para la preservación de fauna y flora en aguas marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; MinSalud, 1984; Figura 3.5). Cabe resaltar que las estaciones cabañas Altamar, Jhohny Cay, San Andrés muelle, Bahía Cove, Control frente a Sharky e influencia Basurero en San Andrés, presentaron valores de pH más altos a los valores máximos registrados por el monitoreo

histórico de la REDCAM (INVEMAR, 2017a), asociado a los altos valores de oxígeno disuelto reportados, especialmente en el segundo semestre de 2016 (Figura 3.3).

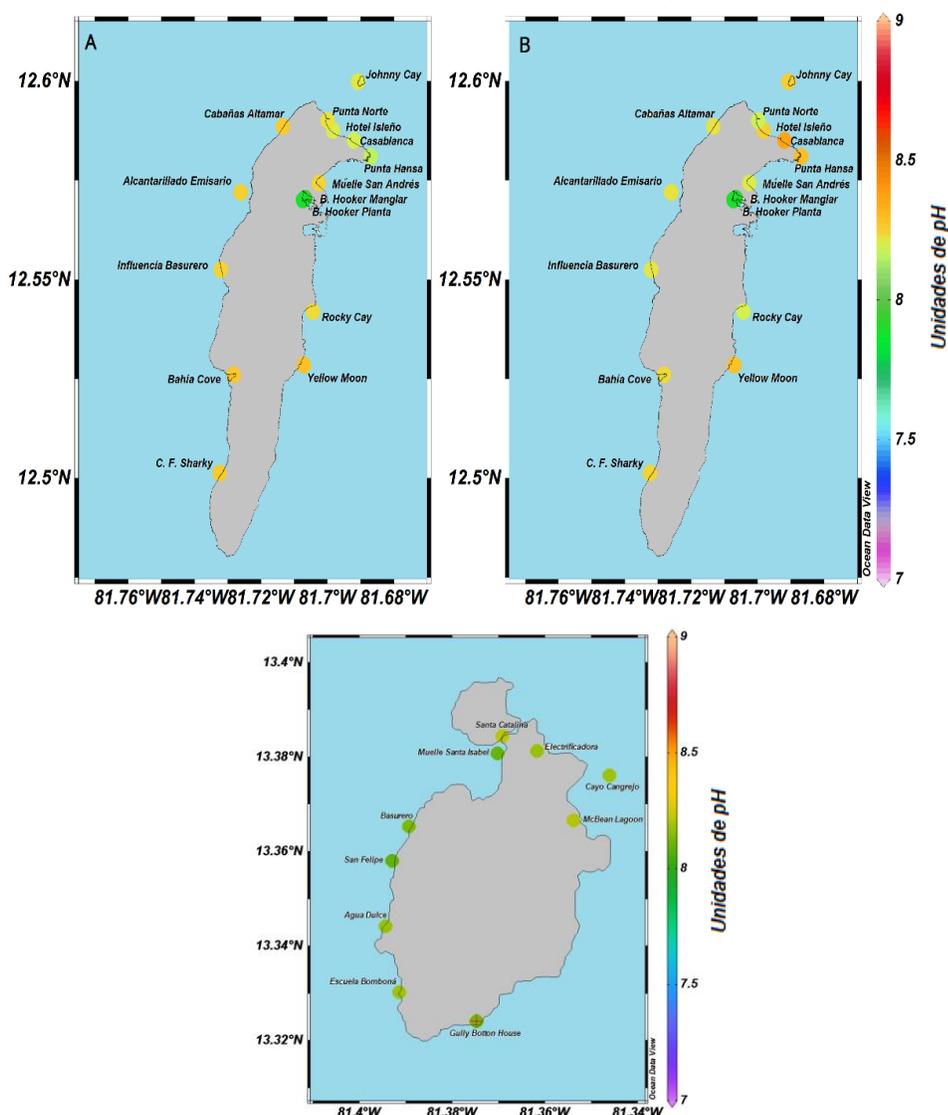


Figura 3.5. pH en el agua superficial de las estaciones REDCAM de San Andrés (izq.) noviembre de 2016, (der.) mayo de 2017 y (abajo) en Providencia y Santa Catalina en junio de 2017.

El comportamiento de los sólidos suspendidos totales (SST) en el Archipiélago se presentan en la Figura 3.6. En noviembre de 2016 las estaciones Bahía Hooker Manglar y Bahía Hooker Planta presentaron los valores más altos de sólidos suspendidos totales con valores de 16 mg/L y 11 mg/L, respectivamente, mientras que en el muestreo realizado durante el primer semestre de 2017, los valores más altos se registraron en la estación Electrificadora en Providencia con 18 mg/L de SST y nuevamente la estación Bahía Hooker Planta con 7 mg/L (Figura 3.6). Lo

anterior se debe a aportes de sedimentos provenientes del ecosistema de manglar, de las quebradas intermitentes y de residuos domésticos de la población residente.

Los valores más bajos se presentaron en mayo de 2017 en las estaciones Alcantarillado emisario, Bahía Hooker Manglar, Bahía Hooker Planta, Cabañas Altamar, Casablanca, Hotel Isleño, Johnny Cay, Punta Hansa, Punta Norte y San Andrés (Muelle) ubicadas en el norte del Archipiélago encontrándose por debajo del mínimo histórico registrado por la REDCAM ([INVEMAR, 2017a](#))

Según lo propuesto por CONAGUA ([2015](#)), las aguas superficiales del Archipiélago presentan una calidad excelente frente a la concentración de SST (Figura 3.6), condición que favorece la producción primaria y el desarrollo y supervivencia de organismos como los corales ([Weber-Scannell y Duffy, 2007](#); [Fabricius, 2005](#)).

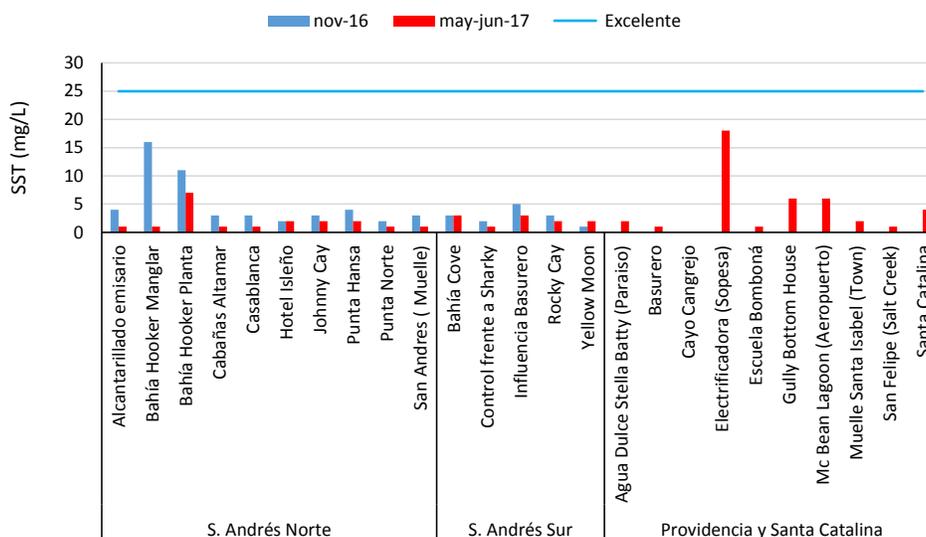


Figura 3.6. Sólidos suspendidos totales en el agua superficial en las estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en los muestreos de noviembre de 2016 y mayo y junio de 2017. Las líneas indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por [CONAGUA \(2015\)](#) y [Fabricius, 2005](#)

Históricamente, las concentraciones de sólidos suspendidos totales en las estaciones del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en general han presentado valores por debajo de 50 mg/L ([INVEMAR, 2017a](#)). Sin embargo, en el primer semestre del año 2009, la estación Escuela Bomboná presentó 98 mg de SST /L, lo que pudo estar asociado con aumentos de la escorrentía gracias a la precipitación, que según el IDEAM ([2017a](#)) presentó una anomalía de 153% en el mes de muestreo, es decir, llovió un 53% mas de lo contemplado. Durante los últimos años esta estación no ha superado los 14 mg/L de SST, obtenidos durante el muestreo realizado en el primer semestre de 2016 ([Martínez-Campo, 2017](#)), por lo que se concluye que ese evento fue algo puntual y no obedeció a condiciones generales de la zona.

Las estaciones ubicadas en la zona norte de San Andrés, Hooker Manglar y Bahía Hooker Planta durante el muestreo realizado el noviembre de 2016, y Casablanca y Punta Hansa durante el

muestreo de mayo de 2017, presentaron concentraciones de nitratos ($\text{N-NO}_3^-/\text{L}$) superiores a los máximos registrados históricamente por la REDCAM, siendo la estación Bahía Hooker Planta la que presentó la mayor concentración con $128 \mu\text{g N-NO}_3^-/\text{L}$ (Figura 3.7a). Sin embargo, las concentraciones de nitratos, durante los muestreos no sobrepasaron los valores referenciados a nivel internacional para la protección de la vida marina (entre $2.900 - 3.600 \mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$; [CCME, 2003](#)).

En el caso de los nitritos ($\text{N-NO}_2^-/\text{L}$), la mayoría de las estaciones presentaron valores por debajo del límite de cuantificación ($<2,0 \mu\text{g NO}_2^-/\text{L}$), tal como se ha registrado históricamente por el monitoreo de la REDCAM ([INVEMAR, 2017a](#)), con excepción de la estación Bahía Hooker Planta, donde se registró una concentración de $2,0 \mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$, durante el muestreo de noviembre de 2016 (Figura 3.7 b), sin superar los rangos históricos de la REDCAM ya que en el 2014, se registró una concentración máxima de $54,0 \mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$ ([INVEMAR, 2017a](#)).

En la zona norte de San Andrés, las concentraciones de amonio ($\text{N-NH}_4^+/\text{L}$) registradas durante el muestreo de noviembre de 2016 oscilaron entre $5,0$ y $185 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$ y en mayo de 2017 entre $28,0$ y $91,0 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$; en la zona sur, en noviembre de 2016 oscilaron entre $20,0$ y $47,0 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$ y en mayo de 2017 estuvieron por debajo del límite de cuantificación (Figura 3.7c). En la zona de Providencia y Santa Catalina, en junio de 2017 las concentraciones de amonio oscilaron entre $14,0$ y $90,0 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$, siendo las estaciones Santa Catalina y Muelle Santa Isabel (Town) las que presentaron las concentraciones más altas ([INVEMAR, 2017a](#)). Las concentraciones altas de amonio en las estaciones del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, están asociadas a la disposición de material orgánico por introducción de aguas residuales sin tratamiento previo ([Gavio et al., 2010](#)) y aportes por escorrentía.

En el caso de los fosfatos ($\text{P-PO}_4^{3-}/\text{L}$), durante el muestreo realizado en mayo de 2017 las concentraciones en la zona de San Andrés fueron mayores que las registradas durante el muestreo del noviembre de 2016. Las estaciones con mayor concentración de este nutriente fueron Bahía Hooker Planta ($176 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$), Hotel Isleño ($250 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$) y Casablanca ($119 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$) ubicadas en la zona norte; Bahía Cove ($161 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$) y Yellow Moon ($122 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$) ubicadas en la zona sur; y Muelle Santa Isabel (Town) en Providencia y Santa Catalina (Figura 3.7). Por otra parte, las estaciones Cabañas Altamar y Punta Hansa presentaron las mayores concentraciones de fosfatos en el muestreo de 2016, con valores de 104 y $83,0 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$. Cabe resaltar que la estación Bahía Hooker Planta presentó valores superiores a los máximos registrados por la REDCAM ([INVEMAR, 2017a](#)) durante el muestreo del mayo de 2017, al igual que las estaciones Cabañas altamar y Hotel Isleño en la zona norte de San Andrés y Bahía Cove y Yellow Moon en la zona sur ([INVEMAR, 2017a](#)). Estos aumentos en las concentraciones de nutrientes inorgánicos se encuentran asociados a la presencia de vertimientos puntuales y difusos y generalmente impactan de manera negativa la calidad de las aguas marinas ya que causan eutrofización, aumento de floraciones de algas que luego se transforman en materia orgánica susceptible de degradación por microorganismos y aumentan las tasas de consumo de oxígeno en la columna del agua ([Camargo y Alonso, 2006](#); [Wright y Colling, 1995](#)).

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

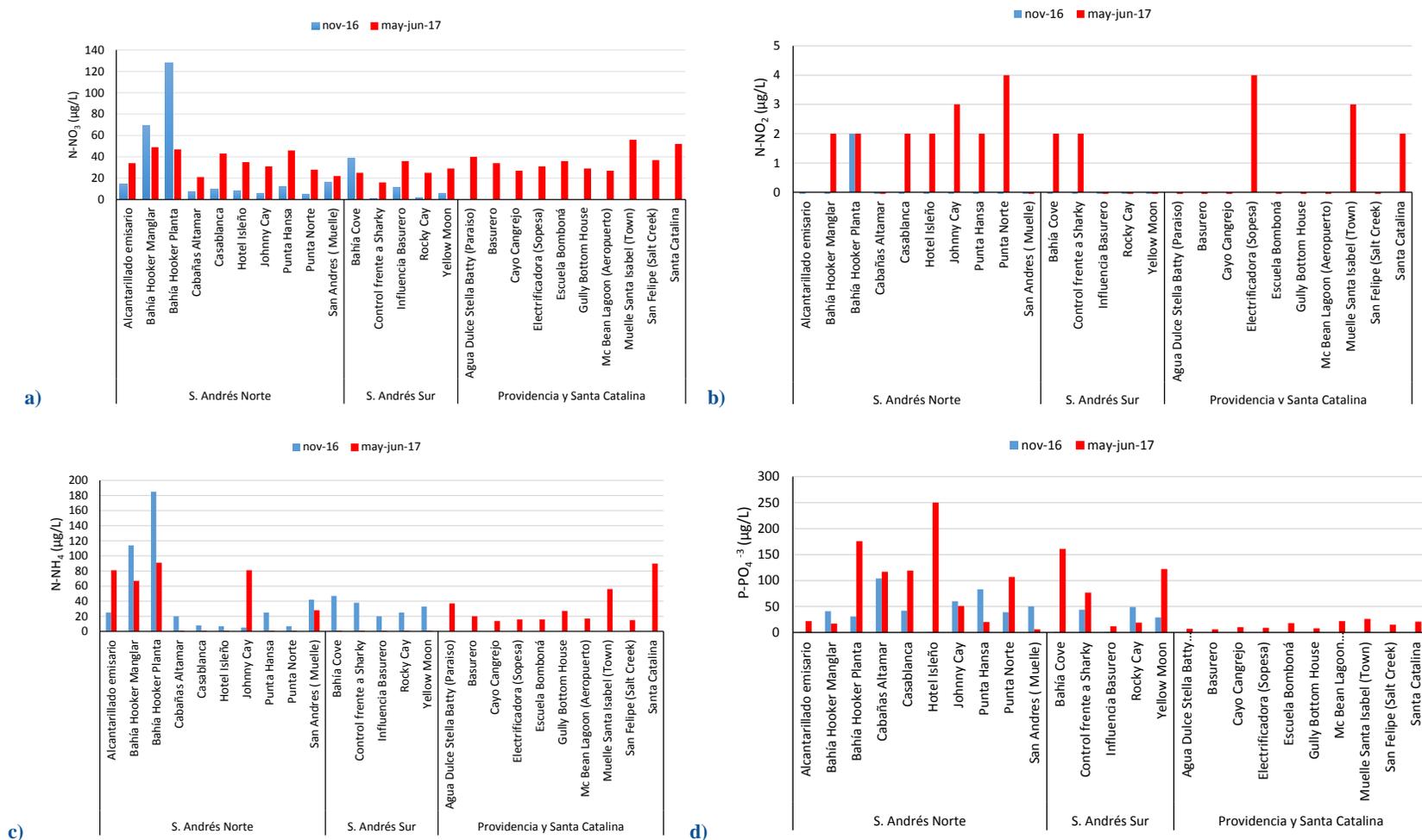


Figura 3.7. Concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos: a) nitratos (N-NO₃⁻), b) nitritos (N-NO₂⁻), c) amonio (N-NH₄⁺) y d) ortofosfatos (P-PO₄⁻³), en el agua superficial de las estaciones de muestreo REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en noviembre de 2016 y mayo y junio de 2017.

La calidad microbiológica de las aguas del Archipiélago fue medida a través de los coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) (Tabla 3.2). En general, San Andrés presentó una menor concentración de CTT y CTE en comparación con Providencia y Santa Catalina, indicando mayores aportes de aguas residuales. En San Andrés, los mayores valores de CTT se presentaron durante el muestreo realizado en el 2016 en las estaciones Jhonny Cay y Punta Hansa, con 79 NMP/100 mL y 17 NMP/100 mL, respectivamente. En mayo de 2017 las estaciones con mayor concentración de CTT fueron Alcantarillado y Bahía Hooker Planta, con 350 NMP/100 mL en cada una de ellas. Las mediciones realizadas durante este periodo, estuvieron dentro del rango histórico de la REDCAM y presentaron condiciones aptas para la recreación por contacto primario o secundario según la normatividad vigente ([MinSalud, 1984](#)).

Tabla 3.2. Concentraciones de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en los muestreos del segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de [MinSalud \(1984\)](#). No medido (-).

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		nov-16	may-jun 2017	Rango histórico	Percentil 90	nov-16	may-jun 2017	Rango histórico	Percentil 90
Zona Norte San Andrés	Alcantarillado	-	350	<1- 80.003	16.000	-	130	<1- 16.000	11.500
	B. Hooker manglar	-	2	2 – 16.000	4.750	-	1	2 – 16.000	1.980
	B. Hooker plantas	-	350	13 – 16.000	11.500	-	170	2 – 16.000	2.540
	Cabañas Altamar	<1	<1	<1 – 1.700	1.200	1	1	<1- 540	130
	Casablanca	<1	<1	<1- 1.600	1.388	1	1	<1- 1.600	198
	Hotel Isleño	2	<1	2 – 1.600	288	2	1	<1- 1.600	243
	Jhonny Cay	79	2	<1- 16.000	1.650	8	2	<1- 1.600	922
	Muelle San Andrés	-	79	2 – 16.000	3.260	-	79	<1- 5.400	988
	Punta Hansa	17	<1	<1 - 140	131	5	1	<1 - 90	53
Punta Norte	2	5	2 – 11.000	850	1	5	2 – 11.000	706	
Zona Sur	Bahía El Cove	-	79	4 – 16.000	3.080	-	7	4 – 16.000	1.600
	Frente Sharky's	<1	<1	<1- 1.600	910	1	1	<1- 240	104,5
	Influencia Basurero	-	<1	<1- 1.600	126	-	1	<1- 280	56,8
	Rocky Cay	4	<1	<1 – 1.600	237	2	1	<1- 220	121
	Yellow Moon	<1	2	4 – 3.500	109	1	2	<1 – 11.000	20
Providencia y Santa Catalina	Agua Dulce	-	350	<1 – 11.000	1.250	-	350	2 - 900	185
	Basurero	-	350	2 - 500	306	-	350	<1- 240	64
	Cayo Cangrejo	-	540	<1 - 240	148	-	540	<1- 27	20
	Electrificadora	-	350	2 – 1.600	432	-	350	<1- 1.600	294
	Escuela Bomboná	-	540	2 – 1.600	1.300	-	540	2 - 540	296
	Gully Bottom House	-	<1	2 – 1.600	455	-	350	2 – 1.600	287
	McBean Lagoon	-	540	<1 - 500	336	-	350	<1- 80	22,6
	Muelle Santa Isabel	-	<1	11 – 1.600	1.600	-	220	2 – 1.600	1.600
	San Felipe	-	350	2 – 2.200	1.600	-	240	2 – 1.600	296
Santa Catalina	-	540	2 – 1.600	460	-	240	<1- 1.600	248	
Límite permisible contacto primario		1.000				200			
Límite permisible contacto secundario		5.000				-			

Las estaciones ubicadas en la zona de Providencia y Santa Catalina, no superaron los registros máximos obtenidos en el monitoreo de la REDCAM, con excepción de las estaciones McBean Lagoon y Cayo Cangrejo, en las cuales se registraron concentraciones de 540 NMP/100 mL (Tabla 3.2); no obstante, todas las estaciones presentaron condiciones aptas para la recreación por contacto primario o secundario según la normatividad vigente ([MinSalud, 1984](#)). En relación a los CTE, todas las estaciones de San Andrés presentaron condiciones aptas para la recreación por contacto primario y secundario, mientras que en Providencia y Santa Catalina, los valores si bien se encontraron dentro de los rangos históricos de la REDCAM, todos superaron el valor límite máximo permitido según la normatividad colombiana ([MinSalud, 1984](#)).

En las estaciones del Archipiélago, durante el periodo de muestreo evaluado, las concentraciones de enterococos fecales (EFE) fueron bajas teniendo, en cuenta el rango histórico del monitoreo de REDCAM (2012 – 2016) (Tabla 3.3), con excepción de las estaciones Electrificadora y Escuela Bomboná, ubicadas en la zona de Providencia y Santa Catalina, en donde se registraron concentraciones de EFE de 290 y 220 UFC/100 mL, respectivamente. En las estaciones Basurero, Electrificadora, Escuela Bomboná, Muelle Santa Isabel y San Felipe, al igual que la estación Alcantarillado ubicada en la zona norte de San Andrés, se registraron valores superiores a los 200 UFC/100 mL, lo que implica que existe un riesgo entre 5 y 10% de contraer enfermedades gastrointestinales agudas (EGI) y 1,9 y 3,9% de contraer enfermedades febriles agudas (ERFA) de acuerdo con lo establecido por la OMS ([2003](#)).

Tabla 3.3. Enterococos fecales (EFE) medidos en las estaciones de playa de REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en los muestreos del segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017, y el registro histórico 2012-2016. *valor de referencia de la OMS (2003) para el riesgo de contraer enfermedades Gastrointestinales (EGI) y Respiratoria Febril Aguda (ERFA) respectivamente. No medido (-).

Zona	Estación	Muestreo		EFE (UFC/100 mL)	
		nov-2016	may-jun-2017	Rango histórico (2012-2016)	Percentil 50
Zona Norte San Andrés	Alcantarillado	-	350	24 – 10p200	253
	B. Hooker manglar	-	2	0 - 8700	10,5
	B. Hooker plantas	-	0	12 - 9300	98
	Cabañas Altamar	-	0	0 - 1200	2
	Casablanca	0	0	0 - 1200	11
	Hotel Isleño	0	0	0 - 1200	12
	Jhonny Cay	0	21	0 - 1200	58
	Muelle San Andrés	93	30	5 - 780	64,25
	Punta Hansa	0	0	0 - 1200	3,5
	Punta Norte	0	1	3 - 80	22
Zona Sur	Bahía El Cove	0	37	5 - 1200	481
	Frente Sharky's	-	0	0 - 6000	3
	Influencia Basurero	0	1	0 - 780	15
	Roky Cay	0	12	0 - 580	16
	Yellow Moon	-	0	0 - 50	1
Providencia y Santa Catalina	Agua Dulce	-	0	1 - 500	40
	Basurero	-	220	0 - 1910	51
	Cayo Cangrejo	-	0	1 - 1400	1
	Electrificadora	-	290	1 - 103	80
	Escuela Bomboná	-	220	1 - 210	170
	Gully Bottom House	-	0	0 - 144	1

Zona	Estación	Muestreo		EFE (UFC/100 mL)	
		nov-2016	may-jun-2017	Rango histórico (2012-2016)	Percentil 50
	McBean Lagoon	-	0	1 - 560	1
	Muelle Santa Isabel	-	210	1 - 1200	119
	San Felipe	-	250	1 - 270	77
	Santa Catalina	-	0	1 - 200	52
Valores de referencia OMS (2003)		≤40 UFC/100 mL, <1% de contraer EGI y <0,3% de contraer ERFA.			
		41–200 UFC/100 mL, 1–5% de EGI y 0,3-1,9% de ERFA.			
		201–500 UFC/100 mL, 5–10% de EGI y 1,9–3,9% de ERFA.			
		>500 UFC/100 mL, >10% de EGI y >3,9% de ERFA			

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes al criseno (HPDD) en las aguas superficiales del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, durante el muestreo de noviembre y diciembre de 2016 se encontraron en su mayoría por debajo del límite de cuantificación de la técnica implementada en el LABCAM (<0,07 µg/L), con excepción de las estaciones Bahía Hooker Plantas, Muelle Santa Isabel y Gully Botton House en donde las concentraciones registradas fueron 0,19, 0,10 y 0,09 µg/L, respectivamente (Figura 3.8), las cuales se encuentran por debajo del valor de referencia para aguas costeras con contaminación baja (>5 <10 µg/L) y de aguas marinas contaminadas (>10 µg/L) (UNESCO, 1984; Zanardi *et al.*, 1999; Acuña-González *et al.*, 2004). Estas estaciones han presentado valores altos en otros muestreos de la REDCAM, como es el caso del año 2002, cuando se registraron concentraciones de 10,01 µg/L en Gully Botton House y 25,17 µg/L Bahía Hooker Planta (Figura 3.9; INVEMAR, 2017a).

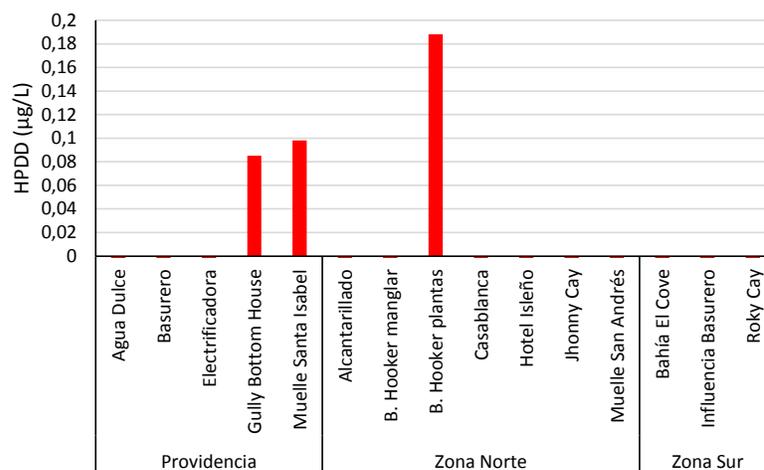


Figura 3.8. Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en los muestreos de noviembre (Zona San Andrés) y diciembre de 2016 (Zona de Providencia).

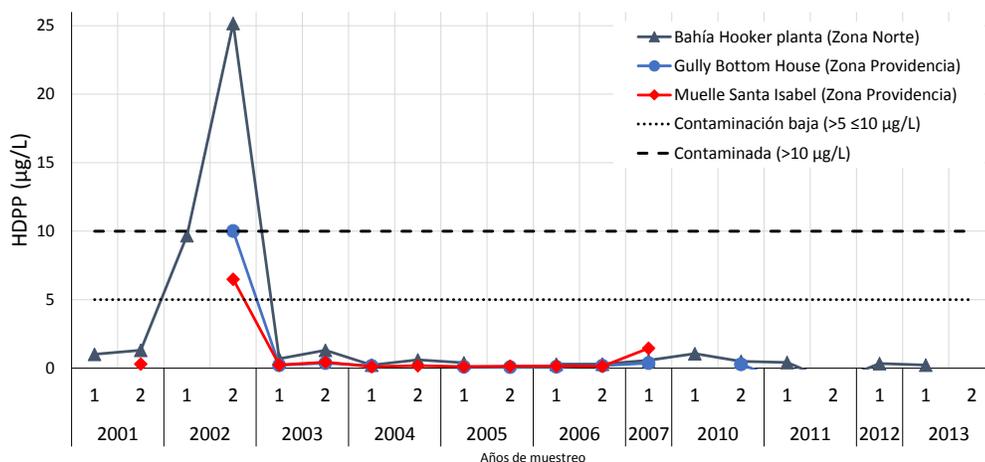


Figura 3.9. Concentraciones de Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de criseno (HPDD) registradas entre los años 2001 a 2013 en las estaciones Bahía Hooker Planta, Gully Botton House y Muelle Santa Isabel de la REDCAM. Valores de referencia de >10 µg/L para aguas contaminadas, >5 <10 µg/L para aguas costeras con contaminación baja y de 1 µg/L para aguas con contaminación no significativa (UNESCO, 1984; Zanardi *et al.*, 1999; Acuña-González *et al.*, 2004).

Los 20 plaguicidas organoclorados medidos en las estaciones de la zona sur y en la zona de Providencia y Santa Catalina durante el muestreo realizado en noviembre y diciembre de 2016, estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR.

Durante el muestreo de noviembre de 2016, las concentraciones de plomo (Pb), cadmio (Cd) y níquel (Ni) estuvieron por debajo de los límites de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR, correspondientes a <3,1 µg Pb/L, <0,42 µg Cd/L y <1,0 µg Ni/L, respectivamente (Tabla 3.4). Adicionalmente, estos valores están por debajo de las referencias para efectos crónicos para agua marina y estuarina (Buchman, 2008; CONAMA, 2005; EPA, 2016), por lo tanto no representaron un riesgo para la biota acuática. Si bien en algunas estaciones las concentraciones de cobre (Cu) y zinc (Zn) fueron cuantificables (Tabla 3.4), solamente el Cu, se encuentra en concentraciones que podrían generar efectos crónicos y agudos para la salud en los organismos marinos, debido a que se encuentran por encima de los valores de referencia propuestos por la NOAA (Buchman, 2008) y la EPA (2016).

Con respecto al hierro (Fe), la zona norte se registraron concentraciones entre <4,7 y 17,18 µg Fe/L; en la zona sur entre <4,7 y 23,8 µg Fe/L; y en la zona de Providencia, concentraciones entre <4,7 y 27,36 µg Fe/L, siendo la estación Agua Dulce la que presentó la mayor concentración (27,36 µg Fe/L), seguida de la estación Bahía el Cove de la zona sur (23,8 µg Fe/L; Tabla 3.4). Sin embargo, estas concentraciones se encuentran por debajo de los valores de referencia para efectos crónicos (50,0 µg Fe/L) y agudos (300,0 µg Fe/L) en los organismos marinos (Buchman, 2008), por lo tanto no representan riesgo para los organismos de la zona.

Tabla 3.4. Concentraciones de metales pesados medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el muestreo noviembre de 2016 en la zona de San Andrés y junio de 2017 en Providencia y Santa Catalina. Valores con el símbolo (<) indica el límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR. Valores de referencia para efectos crónicos y agudos según [Buchman \(2008\)](#), [CONAMA \(2005\)](#) y [EPA \(2016\)](#).

Zona	Estación	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Fe
		µg Pb/L	µg Cd/L	µg Cu/L	µg Zn/L	µg Ni/L	µg Fe/L
S. Andrés Norte	Alcantarillado	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	13,2
	Bahía Hooker Manglar	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	15,7
	Bahía Hooker plantas	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	17,2
	Muelle	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	<4,7
S. Andrés Sur	Bahía El Cove	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	23,8
	Influencia basurero	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	<4,7
Providencia y Santa Catalina	Muelle Santa Isabel	<3,1	<0,42	2,65	15,0	<1,0	11,5
	Basurero	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	<4,7
	Agua dulce	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	27,4
	Gully Bottom House	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	13,3
	Electrificadora	<3,1	<0,42	<0,9	7,87	<1,0	15,6
Valores de referencia para efectos crónicos		8,1	8,8	1,3	81,0	8,2	50,0
Valores de referencia para efectos agudos		65,0	40	2,0	90,0	74	300,0

3.2.1 Calidad del agua de acuerdo con el ICAM_{PPF}

El ICAM_{PPF} fue calculado para el año 2016, a partir de los parámetros oxígeno disuelto, nitratos, SST, pH, fosfatos y en algunas con CTE. Debido a que no se utilizaron todas las variables para su cálculo, el indicador mostró entre un 61-75% de confianza. El ICAM mostró que un 20% de las estaciones presentarn condiciones óptimas para la preservación de flora y fauna ([MinSalud, 1984](#)) y un 73% adecuadas (Figura 3.10) gracias a las bajas concentraciones de coliformes termotolerantes, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos totales y probablemente a la falta de parámetros como DBO₅, HDD y CTE. Sólo un 7% de las estaciones de la REDCAM en el Archipiélago presentaron una calificación aceptable, este resultado estuvo asociado a las concentraciones inadecuadas de nutrientes como fosfatos y nitratos y a las altas concentraciones de coliformes termotolerantes que generalmente se presentan en la zona de San Andrés por la descarga de aguas residuales y por escorrentía urbana tras las precipitaciones de la época de lluvias (Figura 3.10).

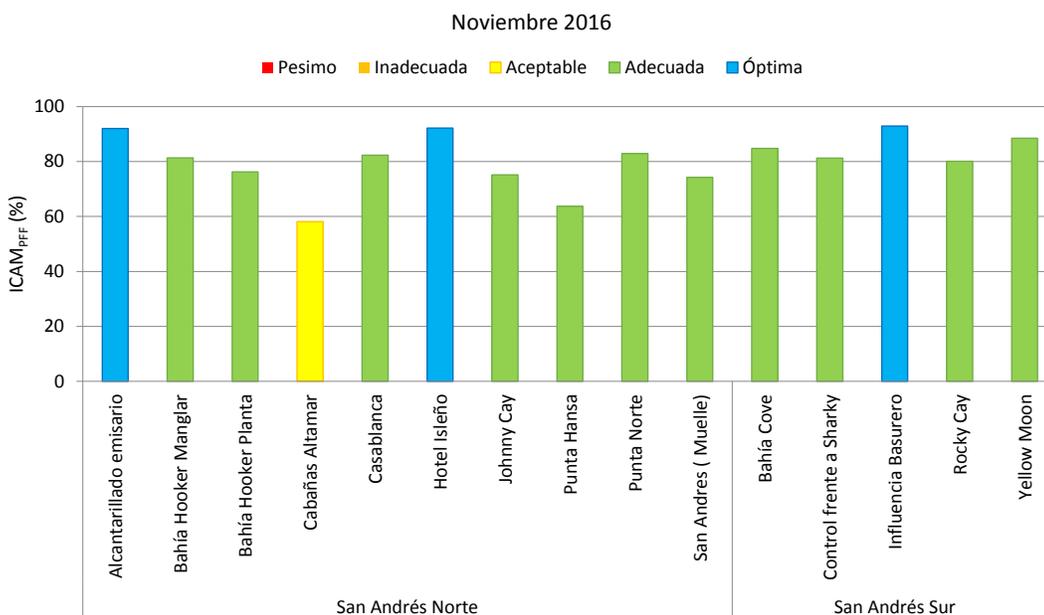


Figura 3.10. Calidad de las aguas en las estaciones de la REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el muestreo del segundo semestre de 2016, evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

Para el periodo evaluado de 2017, el ICAM_{PFF} fue calculado a partir de los parámetros oxígeno disuelto, nitratos, SST, CTE, pH, fosfatos y DBO₅ únicamente para la zona de San Andrés ya que en Providencia y Santa Catalina no se registraron datos de DBO₅. Con estas variables, el indicador tiene una confianza entre el 75-88%. El resultado mostró que en la zona norte de San Andrés un 56% de las estaciones tenían calidad del agua superficial aceptable, 32% adecuada y un 12% inadecuada (Figura 3.11). Tal como se evidenció durante el segundo semestre de 2016, la zona norte presentó una mayor proporción de estaciones con calidad adecuada, mientras que en la zona sur el 60% de las estaciones presentaron condiciones aceptables, debido a las inadecuadas concentraciones registradas de nutrientes como fosfatos (>50 µg P-PO₄⁻³/L) y nitratos (>30 µg N-NO₃/L), probablemente por la presencia de vertimientos puntuales y difusos en las aguas marinas superficiales principalmente durante el muestreo realizado mayo de 2017.

Las estaciones ubicadas en Providencia y Santa Catalina durante el muestreo realizado en junio de 2017 presentaron un 90% condiciones aceptables. Lo anterior se debe principalmente a las concentraciones registradas de fosfatos (>77 µg P- P-PO₄⁻³/L), nitratos (>30 µg N-NO₃/L) y de coliformes termotolerantes (>200 NMP/100 mL), atribuidas a descargas puntuales de aguas residuales y a escorrentía urbana, tras las precipitaciones presentadas en el mes de junio de 2017.

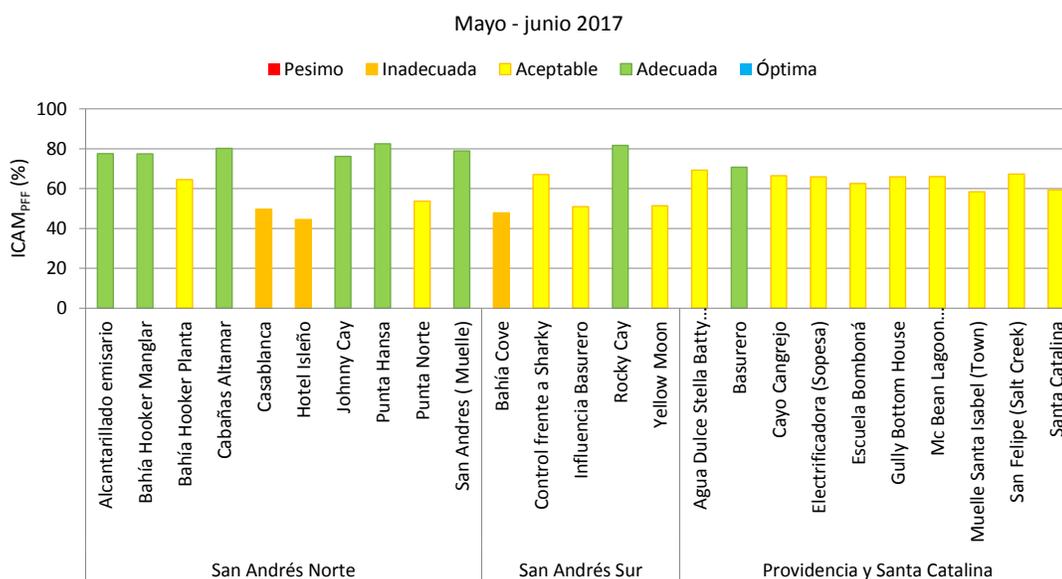


Figura 3.11. Calidad de las aguas en las estaciones marinas de la REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el muestreo del primer semestre de 2017, evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

3.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ El agua marina superficial del departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina presentó condiciones adecuadas y óptimas para la preservación de flora y fauna en el segundo semestre de 2016, asociado a las adecuadas concentraciones de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales y coliformes termotolerantes. Sin embargo, en el primer semestre de 2017 la calidad del agua se deterioró presentando un mayor porcentaje de condiciones aceptables e inadecuadas en la zona sur de San Andrés y aceptable para la zona de Providencia, principalmente debido a las altas concentraciones de coliformes termotolerantes, nitratos y fosfatos, así como a bajas concentraciones de oxígeno disuelto, ligado al inadecuado manejo de las aguas residuales en el Archipiélago.
- ❖ Las aguas de las playas en el archipiélago de San Andrés presentaron buenas condiciones para el uso recreativo durante todo el monitoreo. En contraste, la zona de Providencia y Santa Catalina durante junio de 2017 no presentó condiciones adecuadas, relacionado con los aportes de aguas residuales.
- ❖ No se presentó contaminación por hidrocarburos, ni plaguicidas en las aguas marino costeras del Archipiélago

LA GUAJIRA

Victoria Andrea Castillo-Olaya, Ostin Garcés-Ordóñez y Mónica Rocío Bayona-Arenas



Playa Camarones, Guajira. Foto: Yoselin Nieto

EQUIPO TÉCNICO CORPOGUAJIRA

Mayra Moscote Pana– Analista

Manuel Pinto Brito – Analista

Karol García Bonilla – Profesional Especializado

Lianis Charry Molina– Responsable Calidad Laboratorio

Jaiker Gómez Sierra – Coordinador Laboratorio Ambiental

4. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA

La zona marino costera del departamento de La Guajira tiene una extensión de 789 Km², se extiende desde el río Palomino, hasta Punta Castilletes, con una plataforma continental de amplitud variada, en donde se desarrollan praderas de pastos marinos, playas de arena, lagunas costeras, manglares y áreas coralinas, entre otros ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#)). Esta zona marino-costera se encuentra bajo un régimen climático influenciado por los desplazamientos de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), la circulación de los vientos alisios del noreste, la corriente Caribe y la surgencia estacional de aguas profundas que están presentes durante la época seca (de diciembre a abril, y de mayo a septiembre), además de la contracorriente Panamá-Colombia en dirección hacia el este hasta el Cabo de la Vela durante la época húmeda (de abril a mayo y de septiembre a diciembre; [Andrade et al., 2003](#); [INVEMAR, 2002](#)).

Debido a la surgencia estacional, en esta zona hay mayor disponibilidad de nutrientes, por lo cual es muy productiva, con alta abundancia de especies de importancia pesquera y comercial ([Páramo et al., 2009](#)). Entre las actividades socioeconómicas más importantes, está la pesca, minería, agricultura, ganadería, actividad portuaria, comercio y turismo, entre otras ([ANH y PNUD, 2014](#); [DANE, 2017](#)). Estas actividades y la población costera generan residuos contaminantes ([Superservicios, 2014b](#)) que deterioran la calidad del agua marina, afectando los ecosistemas allí presentes ([INVEMAR, 2017d](#)).

En el presente informe se muestran los resultados del monitoreo REDCAM en el segundo semestre de 2016 y en el primer semestre de 2017, en el departamento de La Guajira, realizado por el INVEMAR en convenio con la Corporación Autónoma Regional de La Guajira – CORPOGUAJIRA. Esta información es insumo para la gestión ambiental de la Corporación que permita un manejo integrado y la protección de sus recursos naturales marinos y costeros.

4.1 ZONAS DE MONITOREO

Para evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento de La Guajira, la REDCAM cuenta con una red de 25 estaciones de muestreo, distribuidas en tres zonas a lo largo de la plataforma continental, Guajira alta, Riohacha y Guajira baja (Figura 4.1), las cuales se describen a continuación:

La zona **Guajira alta** es habitada principalmente por comunidades indígenas que realizan actividades pecuarias (ganado ovino y caprino), explotación de sal, pesca y acuicultura. En esta zona se encuentran las poblaciones costeras de Cabo de la Vela, Bahía Portete y Manaure, las cuales incluyen áreas con pastos marinos, manglar y salinas (principalmente en las bahías Portete, Honda, Hondita, Tucacas y Castilletes); además, se realizan actividades turísticas, portuarias y marítimas que incluye tránsito de embarcaciones en Puerto Bolívar y Puerto Nuevo ([CORPOGUAJIRA-INVEMAR, 2012](#)). En esta zona hay ocho estaciones para el monitoreo de calidad de aguas, y una estación ubicada en bahía Hondita (Figura 4.1), para evaluar calidad de sedimentos.

La zona de **Riohacha** presenta la mayor influencia urbana, debido a que se encuentra la ciudad de Riohacha, capital del departamento que vierte sus aguas residuales domésticas al sur de la playa de Riohacha ([CORPOGUAJIRA-INVEMAR, 2012](#)). En esta zona desembocan el río

Ranchería y algunos arroyos intermitentes que descargan sus aguas en el mar. En esta zona se cuenta con seis estaciones de calidad de aguas, en dos de las cuales (frente al río Ranchería y vertimiento Riohacha) se muestrea sedimento (Figura 4.1).

En la zona **Guajira baja** desembocan los ríos Palomino, Cañas y Jerez y se encuentran las playas de Dibulla y Camarones, así como el área de influencia de Termoguajira y de la vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta. Las principales actividades económicas que se desarrollan son la agricultura y la ganadería. Debido a los vientos alisios y a su ubicación geográfica esta zona puede presentar precipitaciones pueden alcanzar los 1.500 mm/año (IGAC, 1996; Andrade, 2000; CORPOGUAJIRA-INVEMAR, 2012), altas en comparación con las otras zonas del departamento que no superan los 1.000 mm/año (IDEAM, 2017c). En esta zona se cuenta con 11 estaciones de calidad de aguas, en una de las cuales (río Tapia) se colectan muestras de sedimentos (Figura 4.1).

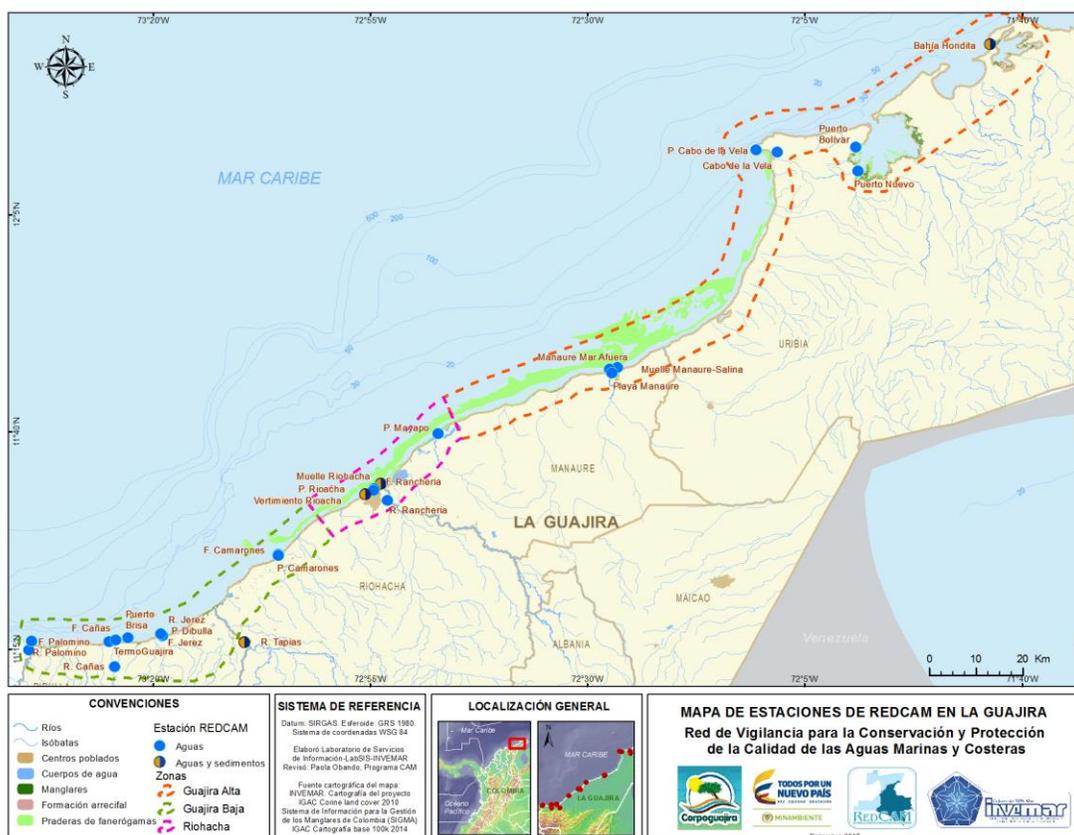


Figura 4.1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos azules y marrón con azul) en el departamento de La Guajira.

Los muestreos fueron realizados entre los días 5 y 7 de diciembre de 2016 (en adelante diciembre 2016) finalizando la época de lluvias, y entre los días 7 y 9 de marzo de 2017 (en adelante marzo 2017) a finales de la época seca. En diciembre de 2016, se registraron precipitaciones entre 0 y 50 mm en la zona norte de La Guajira y entre 50 y 100 mm en la parte media y baja de La Guajira, y en marzo de 2017 las precipitaciones estuvieron entre 0 y 50 mm en la zona norte y media, y entre 50 y 100 mm en la zona sur de La Guajira (IDEAM, 2017a). Según IDEAM

(2017a), a inicios del mes de diciembre de 2016 y a inicios del mes de marzo de 2017, se presentaron anomalías de lluvias superiores al 100% de lo normal.

4.2 CALIDAD DE AGUAS

La temperatura del agua superficial diciembre de 2016, osciló entre 23,4 y 31,0 °C y en marzo de 2017, osciló entre 22,4 y 26,8 °C, valores que estuvieron dentro del rango histórico de la REDCAM (Tabla 4.1). Las estaciones en donde se registraron las temperaturas más bajas en el periodo 2016-2017, fueron los ríos Jerez y Palomino, ubicados en la zona Guajira baja. Generalmente, durante el primer semestre del año, la zona marino-costera de La Guajira presenta temperaturas superficiales del mar mas bajas, principalmente en el mes de marzo por la ocurrencia en la zona de giros y frentes térmicos costeros debido a los vientos alisios y la surgencia (Cañón, 2001; Bernal *et al.*, 2006).

En diciembre de 2016, las estaciones con temperaturas más altas fueron playa Riohacha (30,1 °C), Muelle Riohacha (30,0 °C) y frente del río Ranchería (29,9 °C) en la zona Riohacha, a diferencia del muestreo de marzo de 2017, donde la temperatura más alta fue registrada en las estaciones de Puerto Bolívar (26,8 °C) y Puerto Nuevo (26,2 °C) en la zona alta de La Guajira y en el río Ranchería en la Riohacha (26,3 °C) (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Temperatura del agua superficial registrada de las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira en diciembre de 2016 y marzo de 2017, y valores mínimos y máximos registrados entre los años 2001 y 2016 por la REDCAM en el departamento. Sin datos (-).

Zona	Estación	dic-2016	mar-2017	Valor mínimo REDCAM	Valor máximo REDCAM
Guajira Alta	Bahía Hondita	-	24,6	24,6	24,6
	Cabo de la Vela	29,2	26	23,4	31,9
	F. Manaure	29,1	25,6	25,1	30,7
	Manaure - Salina	29,3	25,5	25,2	31,2
	P. Manaure	29,1	25,8	25,8	32,4
	Puerto Bolívar	29,4	26,8	24,9	30,6
	Puerto Nuevo	28,4	26,2	25,3	31,45
	P. Cabo de la Vela	29,4	25,6	22,9	32,75
Guajira Baja	F. Camarones	29,7	25,2	25,3	30,9
	F. Cañas	29,1	26	22,9	30,8
	F. Jerez	29,2	25,9	23,9	30,7
	F. Palomino	29,5	24,6	23,3	31,6
	TermoGuajira	29,1	25,6	21,9	39,6
	P. Camarones	29,4	25,5	25,7	30,7
	P. Dibulla	29,3	25,8	24	34
	R. Cañas	24,3	24,5	24,3	31,3
	R. Jerez	23,4	22,4	23,2	30,4
	R. Palomino	23,4	23,8	20,6	29,5
	R. Tapia (Puente Bomba)	-	22,8	22,8	22,8
Riohacha	F. Ranchería	29,9	26	25,7	33
	Muelle Riohacha	30	25,9	25,7	32,9
	P. Mayapo	28,8	24,9	25,6	31,7
	P. Riohacha	30,1	25,4	25,7	33,6
	R. Ranchería	27,3	26,3	26,5	33,3
	Vertimiento Riohacha	29,8	26,1	25,6	33,3

En la zona costera de La Guajira se registraron salinidades entre 0 y 35,8 en el muestreo de diciembre de 2016 y entre 0 y 38,0 en el muestreo de marzo de 2017 (Figura 4.2). En general las salinidades más bajas se presentaron en el mes de diciembre de 2016 (Figura 4.2), asociado a precipitaciones por encima de lo normal de acuerdo con lo reportado por [IDEAM \(2017a\)](#) para este mes, las cuales probablemente aumentan los caudales de los ríos y canales que desembocan en el mar ([CORPOGUAJIRA-INVEMAR, 2012](#)). Según la escala de clasificación de las aguas propuesta por [Knox \(2001\)](#), las aguas de las estaciones en los ríos Cañas, Jerez, Palomino y Ranchería son aguas dulces, debido a valores de salinidad registrados por debajo de 0,5. En la zona de Guajira Alta, la salinidad del agua estuvo entre 34 y 38 unidades, clasificándolas como aguas marinas polihalinas (34-38) y en la baja Guajira los frentes de los ríos y playas presentan aguas con salinidades de 32 y 38, clasificándolas como aguas marinas meso (30-34) y polihalinas, dependiendo de la temporada climática ([Knox, 2001](#)). En la zona de Riohacha, las estaciones frente del río Ranchería y Muelle de Riohacha, se clasificaron como aguas marinas oligohalinas (17-30) en diciembre de 2016, debido a los aportes del río Ranchería y como aguas marinas polihalinas en marzo de 2017, cuando la boca del río se cierra.

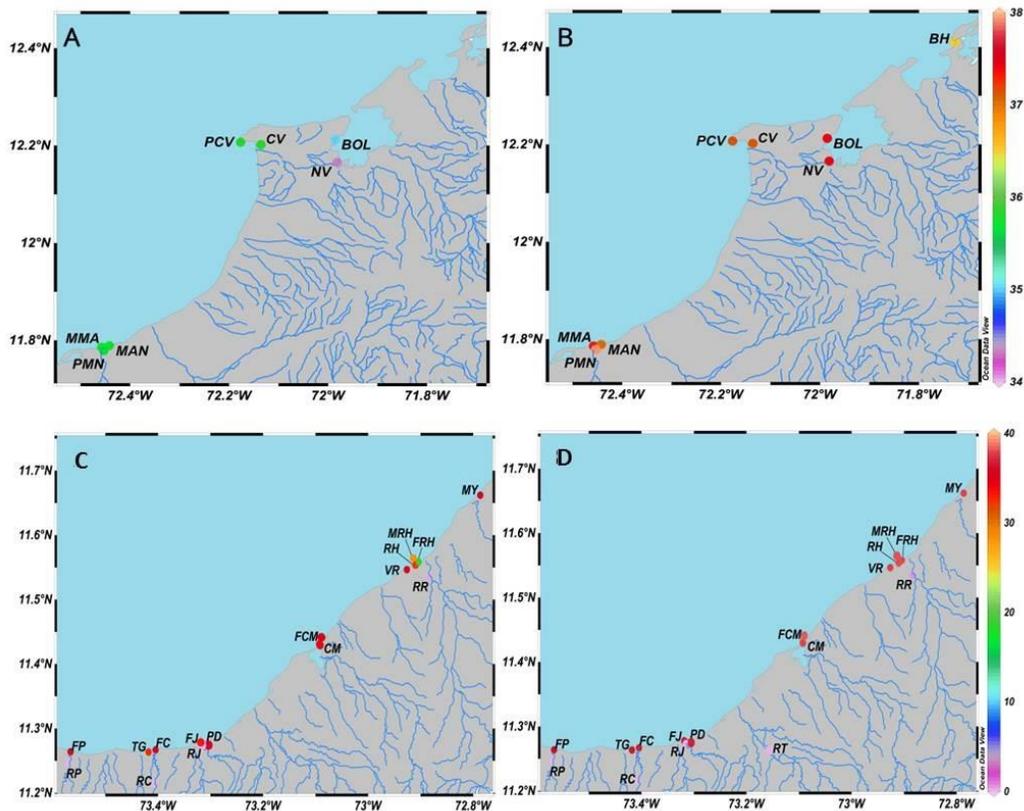


Figura 4.2. Salinidad del agua superficial en departamento de La Guajira en (a y c) muestreos en diciembre de 2016 parte alta y baja, (c y d) muestreos en marzo de 2017 en la parte alta y baja de La Guajira. MY: Playa Mayapo, FRH: Frente a Ranchería, MRH: Muelle Riohacha, RR: Río Ranchería, VR: Vertimiento Riohacha, RH: Playa Riohacha, CM: Playa Camarones, FCM: Frente a Camarones, PD: Playa Dibulla, FJ: Frente a Jerez, RJ: Río Jerez, FC: Frente a Cañas, TG: Junto a Termogujaira, RC: Río Cañas, FP: Frente a Palomino, RP: Río Palomino, RT: Río Tapia, BH: Bahía Hondita, BOL: Puerto Bolívar, NV: Puerto Nuevo, CV: Cabo de la Vela, PCV: Punta Cabo de la Vela, MAN: Muelle Manaure, PMN: Playa Manaure, MMA: Manaure Mar Afuera.

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD), durante el muestreo realizado en diciembre de 2016 y marzo de 2017, estuvieron por encima del mínimo permisible (4,0 mg O₂/L; Figura 4.3) para la preservación de la flora y fauna según el decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)). Sin embargo se resaltan las estaciones Puerto Nuevo y Vertimiento Riohacha en el mes de diciembre con registros de 4,39 mg O₂/L (68,6 % O₂) y 4,72 mg O₂/L (70,9 % O₂), respectivamente, y Bahía Hondita con una concentración de 4,75 mg O₂/L en el mes de marzo de 2017, que si bien cumplen con la normatividad, indican que se están propiciando procesos de consumo de oxígeno por la presencia de material orgánico, producto de los vertimientos de aguas residuales en el caso de Puerto Nuevo y Vertimiento Riohacha, o en el caso de Bahía Hondita, debido a aportes del ecosistema de manglar que bordea el litoral. Estas concentraciones bajas en el caso de condiciones no naturales pueden generar estrés en especies ícticas, influyendo en su capacidad de escapar de predadores y en su consumo de energía ([Kramer, 1987](#); [Shoji et al., 2005](#)):-

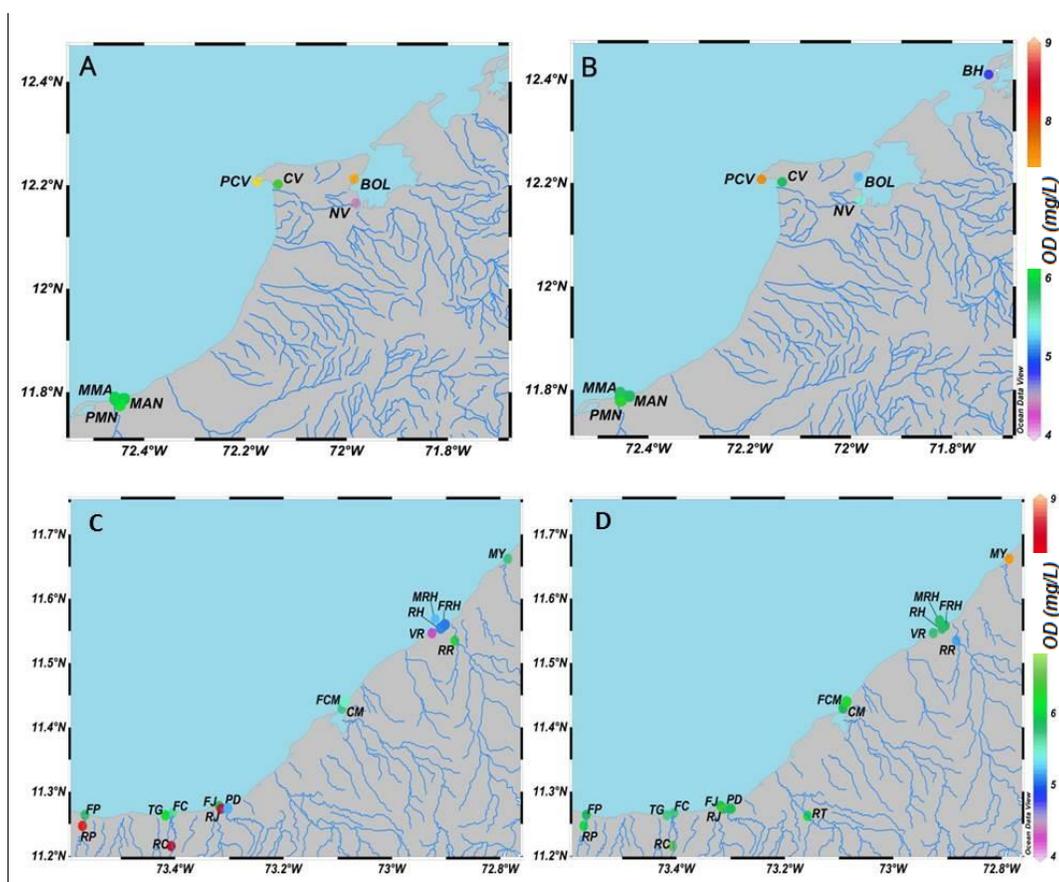


Figura 4.3. Oxígeno disuelto (OD) en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento La Guajira, (a y c) muestreos en diciembre de 2016 en la parte alta y baja, (c y d) muestreos en la parte alta y baja de La Guajira durante marzo de 2017. MY: Playa Mayapo, FRH: Frente a Ranchería, MRH: Muelle Riohacha, RR: Rio Ranchería, VR: Vertimiento Riohacha, RH: Playa Riohacha, CM: Playa Camarones, FCM: Frente a Camarones, PD: Playa Dibulla, FJ: Frente a Jerez, RJ: Rio Jerez, FC: Frente a Cañas, TG: Junto a Termoguajira, RC: Rio Cañas, FP: Frente a Palomino, RP: Rio Palomino, RT: Rio Tapia, BH: Bahía Hondita, BOL: Puerto Bolívar, NV: Puerto Nuevo, CV: Cabo de la Vela, PCV: Punta Cabo de la Vela, MAN: Muelle Manaure, PMN: Playa Manaure, MMA: Manaure Mar Afuera.

El registro histórico de OD en las estaciones de La Guajira, muestra que en general la concentración de oxígeno en todas las estaciones, se encuentra por encima del criterio de calidad

para la preservación de flora y fauna (4 mg/L) de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984 (Figura 4.4). Sin embargo, en los años 2007, 2011 se observaron disminuciones drásticas del oxígeno y una tendencia a la disminución entre el 2015 y 2016 en ambos semestres, lo cual se asocia a los fenómenos de El Niño y La Niña que se presentaron en esos años ([IDEAM, 2017d](#)). No se presentan diferencias destacadas entre el primer semestre y segundo semestre de cada año en la zona de Guajira alta, debido a que no hay tributarios de importancia en esta región.

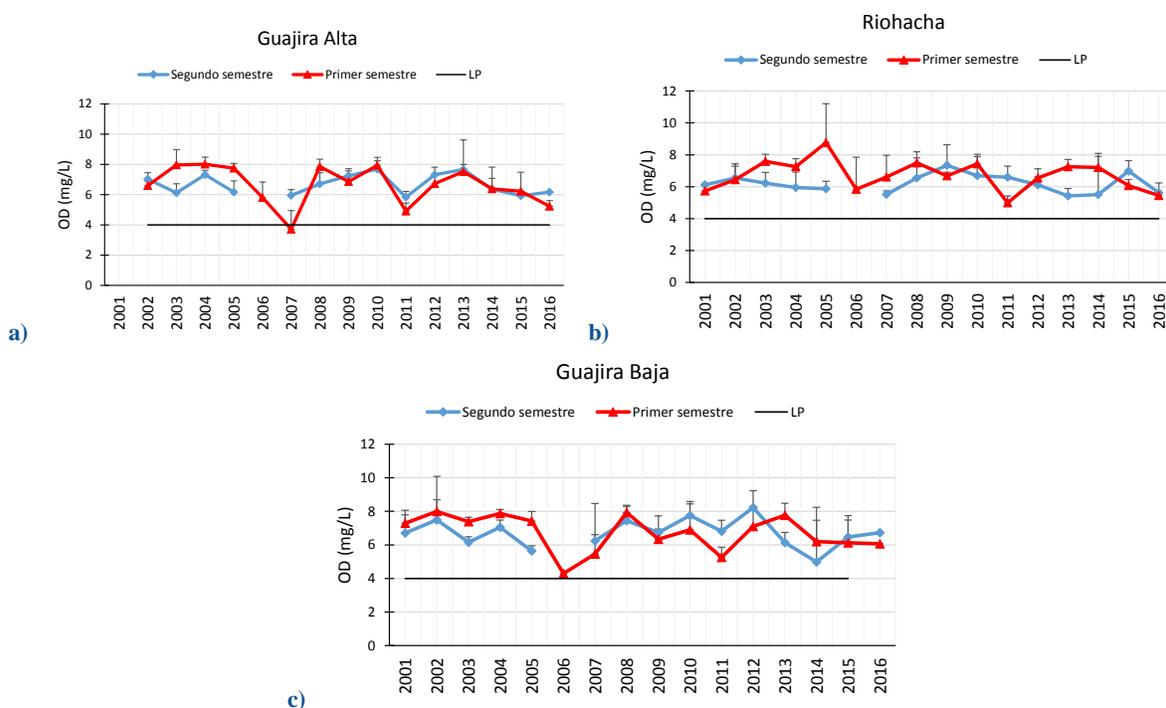


Figura 4.4. Valores promedio históricos de oxígeno disuelto en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de La Guajira. La línea negra indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido de 4,0 mg de O₂/L en el Decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)).

Los valores de pH registrados en las estaciones de La Guajira durante el muestreo de diciembre de 2016 oscilaron entre 6,32 y 8,83 y en el muestreo de marzo de 2017 entre 6,31 y 8,69 (Figura 4.5). En general los valores registrados están dentro del rango para la preservación de flora y fauna, tanto en aguas dulces (4,0 - 9,0) como para aguas marinas (6,5 - 8,5) ([MinSalud, 1984](#)), con excepción de las estaciones frente a Manaure y playa Mayapo, en las cuales se registraron valores por encima de este criterio en diciembre de 2016, con valores de 8,83 y 8,57, respectivamente. En Punta Cabo de la Vela en marzo de 2017 se registró un pH de 8,69, superior al criterio de calidad, posiblemente debido a aportes de aguas con alto contenido de nutrientes por surgencia que favorecen florecimientos fitoplanctónicos y a su vez la captación de carbono orgánico disuelto, aumentando el pH del agua ([Fuhrmann y Zirino, 1988](#); [Juárez-Colunga et al., 2010](#)).

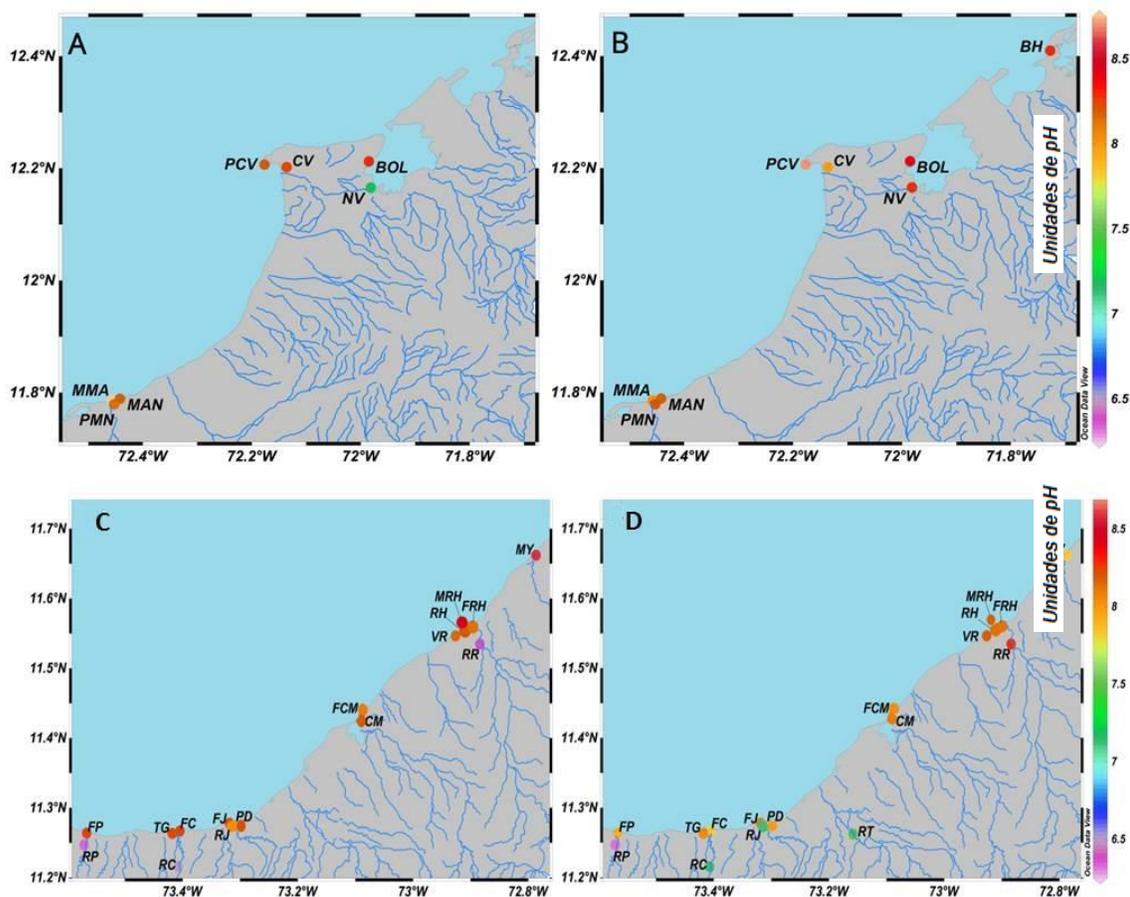


Figura 4.5. pH en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira, (a y c) muestreos en diciembre de 2016 en la parte alta y baja, (c y d) muestreos en la parte alta y baja de La Guajira durante marzo de 2017. MY: Playa Mayapo, FRH: Frente a Ranchería, MRH: Muelle Riohacha, RH: Playa Riohacha, RR: Rio Ranchería, VR: Vertimiento Riohacha, CM: Playa Camarones, FCM: Frente a Camarones, PD: Playa Dibulla, FJ: Frente a Jerez, RJ: Rio Jerez, FC: Frente a Cañas, TG: Junto a Termoguajira, RC: Rio Cañas, FP: Frente a Palomino, RP: Rio Palomino, RT: Rio Tapia, BH: Bahía Hondita, BOL: Puerto Bolívar, NV: Puerto Nuevo, CV: Cabo de la Vela, PCV: Punta Cabo de la Vela, MAN: Muelle Manaure, PMN: Playa Manaure, MMA: Manaure Mar Afuera.

Los sólidos suspendidos totales (SST) en el muestreo de diciembre de 2016 oscilaron entre 4,3 y 472 mg SST/L, y en marzo de 2017 entre 7,2 y 1.038 mg SST/L (Figura 4.6). Según la escala de clasificación de la calidad de las aguas por SST sugerido por [CONAGUA \(2015\)](#), en diciembre de 2016, la estación Playa Mayapo presentó aguas fuertemente contaminadas por SST debido a sus altas concentraciones (472 mg SST/L), un 32% de las estaciones en la zona costera del departamento de La Guajira estuvieron en el rango de aguas contaminadas (150-400 mg SST/L), un 23 % en el de aguas aceptables con indicios de contaminación (75-150 mg SST/L) y el 41% en el de aguas con buena calidad (25-75 mg SST/L).

En marzo de 2017, la cantidad de estaciones con buena calidad disminuyó (Figura 4.6), siendo la estación Playa Palomino clasificada como fuertemente contaminada (1.038 mg SST/L), un 36 % de las estaciones como aguas contaminadas, 24 % con calidad aceptable y 36 % con buena

calidad de acuerdo con [CONAGUA \(2015\)](#). Estos resultados obtenidos pueden asociarse a aportes de diferentes actividades antrópicas desarrolladas en las áreas de influencia de las estaciones (principalmente tránsito de embarcaciones, vertidos de aguas sin tratamiento y pesca, entre otras), así como a procesos erosivos tanto costeros como de la cuenca de los ríos, sumado a la dinámica hídrica de las aguas marinas de la zona.

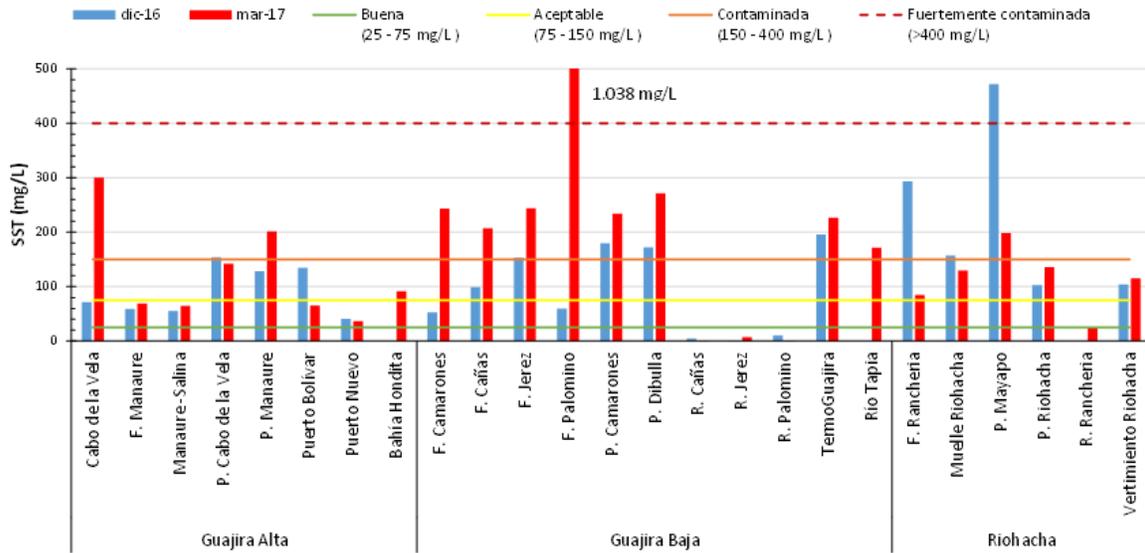


Figura 4.6. Sólidos suspendidos totales en el agua superficial en las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira, en los muestreos de diciembre de 2016 y marzo de 2017. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a las concentraciones de SST, propuestos por [CONAGUA \(2015\)](#).

El registro histórico de SST en las estaciones de la REDCAM el departamento de La Guajira ha mostrado que generalmente, las concentraciones de SST son mayores durante los muestreos realizados en segundo semestre del año en comparación con los ejecutados durante el primer semestre del año, manteniéndose por debajo de 150 mg SST/L (Figura 4.7). Lo anterior debido principalmente a las altas precipitaciones registradas durante los muestreos de segundos semestres, propios de la época de lluvias (septiembre a diciembre), en comparación con las registradas en los muestreos del primer semestre realizados generalmente durante la época seca. Lo anterior, permite un mayor aporte de los sólidos al mar provenientes del aumento del caudal de los ríos, sumados a las escorrentías de zonas ganaderas, agrícolas y urbanas y vertimientos de aguas residuales municipales en las zonas Guajira Baja y Riohacha. El aumento de SST en el agua superficial, interfiere en los procesos fotosintéticos, ya que impiden la penetración de la luz solar, lo que altera la productividad primaria, indispensables para el mantenimiento de la ecología trófica de los ecosistemas ([Manahan, 2007](#)).

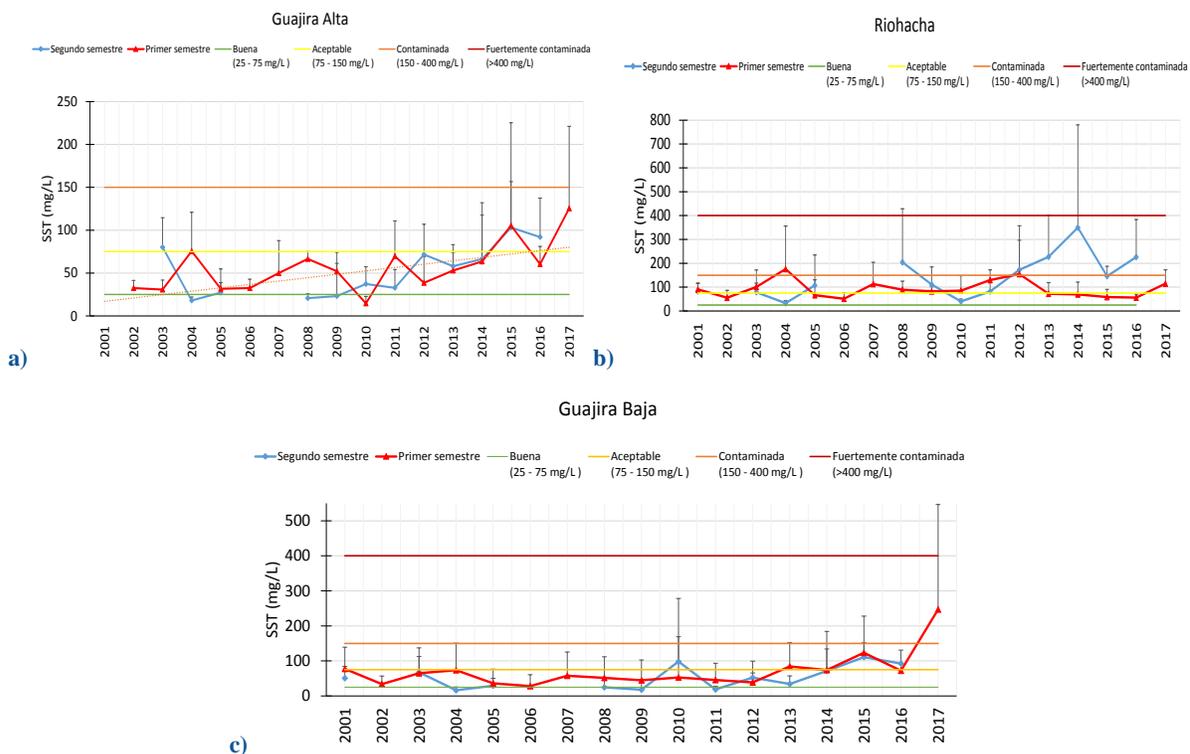


Figura 4.7. Valores promedio históricos de SST en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de La Guajira. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a las concentraciones de SST, propuestos por CONAGUA (2015).

Las concentraciones de los nutrientes inorgánicos disueltos amonio (N-NH_4^+), nitritos (N-NO_2^-), nitratos (N-NO_3^-) y ortofosfatos (P-PO_4^{3-}) se muestran en la Figura 4.8. En el muestreo de diciembre de 2016, el amonio en el 74 % de las estaciones estuvo por debajo del límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM del INVEMAR ($<3,1 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$); las concentraciones de amonio más altas se registraron en las estaciones Manaure Salina ($49,9 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) en la zona Guajira alta, y Vertimiento Riohacha ($21,7 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) frente del río Ranchería ($19,5 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) y playa Mayapo ($18,4 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) en la zona de Riohacha. En marzo de 2017, sólo el 54% de las estaciones presentaron valores por debajo del límite de cuantificación y las concentraciones más altas se registraron en las estaciones frente a Camarones ($80,5 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) y río Palomino ($20,2 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) en la zona Guajira baja, y vertimiento Riohacha ($19,9 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) en la zona de Riohacha (Figura 4.8a).

Las concentraciones de nitritos en el muestreo de diciembre de 2016 estuvieron entre $0,706$ y $3,23 \mu\text{g NO}_2^-/\text{L}$, siendo la estación río Ranchería en la zona de Riohacha la de mayor concentración, seguido de frente a Manaure (Figura 4.8b). En el muestreo de marzo de 2017 las concentraciones de nitritos estuvieron entre $1,01$ y $13,8 \mu\text{g NO}_2^-/\text{L}$ (Figura 4.8b), la estación frente a Camarones ubicada en la zona Guajira baja presentó la concentración más alta ($13,8 \mu\text{g/L}$), seguida de la playa Camarones ($8,94 \mu\text{g/L}$), y solo un 28% de las estaciones presentaron valores por debajo del límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM ($<0,7 \mu\text{g NO}_2^-/\text{L}$).

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

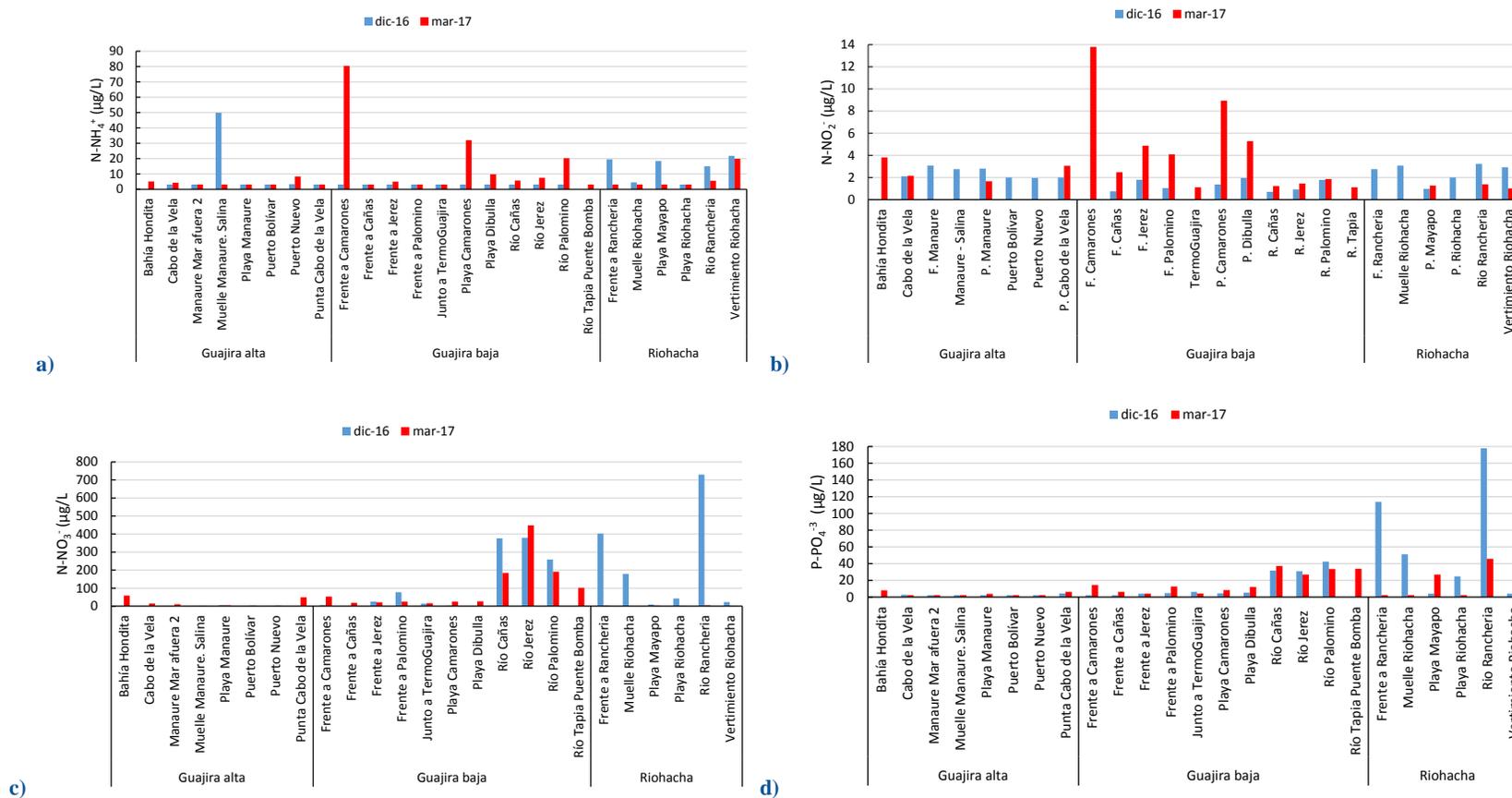


Figura 4.8. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitritos (N-NO₂⁻), c) nitratos (N-NO₃⁻) y d) Ortofosfatos (P-PO₄⁻³), en las estaciones de muestreo de la REDCAM en el departamento de La Guajira durante el muestreo realizado durante el segundo semestre de 2016 y durante el primer semestre de 2017.

El 70% de las estaciones, principalmente las ubicadas en los ríos, presentaron concentraciones de nitratos entre 2,2 y 730 $\mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$ en el muestreo de diciembre de 2016 y el 30% restante presentaron valores por debajo del límite de cuantificación ($<2,1 \mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$). Las estaciones río Ranchería (730 $\mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$) y su frente (403 $\mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$) en la zona de Riohacha, y los ríos Jerez (379 $\mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$), Cañas (376 $\mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$) y Palomino (259 $\mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$) en la zona Guajira baja presentaron las concentraciones más altas (Figura 4.8c). El 96% de las concentraciones de nitratos en el muestreo de marzo de 2017 estuvieron entre 2,73 y 448 $\mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$ y el 4% correspondiente a la estación Muelle Riohacha presentó un valor por debajo del límite de cuantificación.

Cabe resaltar que las concentraciones más altas de nitritos, nitratos y amonio, fueron registradas en las estaciones ubicadas en los ríos y sus frentes, tanto en diciembre de 2016 como en marzo de 2017 (Figura 4.8). Generalmente, las concentraciones altas de nitritos, nitratos y amonio en estas zonas se deben a aportes o escorrentías de aguas continentales, así como de actividades antrópicas ([INVEMAR, 2017d](#); [Betancourt et al., 2011](#); [Liu et al., 2005](#)) y a procesos fisicoquímicos que ocurren durante los momentos de mezcla de aguas dulces y marinas, tales como procesos de oxidación de la materia orgánica, variaciones de las concentraciones de OD, pH, temperatura, SST, entre otros, sumados a la hidrodinámica del agua en estas zonas, que permiten la liberación de nutrientes a la columna del agua ([Flint et al., 1986](#); [Paerl, 2006](#); [Smith et al. 1999](#)).

Las mayores concentraciones de ortofosfatos se registraron en la estación Río Ranchería, tanto en el muestreo de diciembre de 2016 (178 $\mu\text{g PO}_4^{3-}/\text{L}$), como en el muestreo de marzo de 2017 (45,7 $\mu\text{g PO}_4^{3-}/\text{L}$; Figura 4.8); seguido de frente del río Ranchería y Muelle Riohacha en el muestreo de diciembre de 2016, y los ríos Cañas y Palomino en marzo de 2017. Las altas concentraciones de este nutriente, al igual que el amonio, nitritos y nitratos, generalmente se deben a afluentes domésticos de poblaciones cercanas, con alto contenido de materia orgánica; y en estaciones ubicadas en la zona marina y costera cercanas a ríos, principalmente con aportes de aguas sin tratamiento ([Betancourt et al., 2011](#); [INVEMAR, 2017d](#)).

La calidad microbiológica de las aguas superficiales del departamento de La Guajira fue medida a través de los coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) (Tabla 4.2). En general, La Guajira presentó concentraciones de CTT entre 17 y 16.000 NMP/100 mL, en el muestreo de diciembre de 2016; y entre 6,8 y 16.000 NMP/100 mL, en el muestreo de marzo de 2017, encontrándose dentro de los rangos históricos reportados en la REDCAM. Las estaciones en los ríos Cañas y Jerez ubicadas en la zona Guajira baja, y Muelle Riohacha y playa Riohacha, ubicadas en la zona de Riohacha, presentaron las mayores concentraciones de CTT en diciembre de 2016, superando el límite permisible de contacto primario (1.000 MNP/100 mL).

Las estaciones ubicadas en la zona de Guajira alta, presentaron condiciones microbiológicas aptas para la recreación por contacto primario y secundario (5.000 NMP/100 mL) según la normatividad vigente ([MinSalud, 1984](#)). En el muestro de marzo de 2017, las estaciones río Palomino, frente del río Ranchería y río Ranchería presentaron concentraciones altas de CTT, por encima del límite permisible. Estos resultados indican que el agua de las estaciones río Palomino y su frente, y los ríos Jerez y Tapia, están afectadas por vertimientos de aguas

residuales, presentando un riesgo sanitario para la salud humana y para los organismos presentes en sus áreas de influencia, debido a la aparición de microorganismos patógenos (Munn, 2004).

En el caso de los CTE, las concentraciones registradas tanto para el muestreo de diciembre de 2016 como para el muestreo de marzo de 2017 estuvieron por encima del límite para la recreación por contacto primario en las estaciones de los ríos Cañas, Jerez y Palomino y frente del río Ranchería (Tabla 4.2). Las estaciones Puerto Bolívar (Guajira alta), Muelle Riohacha, playa Riohacha y Vertimiento Riohacha (Riohacha) presentaron concentraciones superiores a los 200 NMP/100 mL en el muestreo de diciembre de 2016, al igual que Cabo de la Vela, río Tapia, playa Mayapo y río Ranchería en marzo del 2017, indicando condiciones de calidad no aptas para contacto primario, de acuerdo con la normatividad vigente (MinSalud, 1984).

Lo anterior indica una constante contaminación del agua desde la parte media de hacia el sur del departamento de La Guajira, coincidiendo con las zonas de mayor cercanía a los centros poblados. De igual forma, los resultados obtenidos muestran un favorecimiento de la presencia tanto de CTE como de CTT por las precipitaciones anómalas registradas durante la época de muestreo según IDEAM (2017a) (200% por encima de lo normal en diciembre de 2016 y 148% de lo normal en marzo de 2017), esto coincide con lo expuesto por Molina-Bolívar y Jiménez-Pitre (2017) en La Guajira y por Barrantes et al. (2013), en donde se presenta mayor concentración de CTT en aguas superficiales, en el mes de diciembre.

Tabla 4.2. Concentraciones de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira, en los muestreos de diciembre de 2016 y marzo de 2017. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de MinSalud (1984). No medido o dato no disponible (-).

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		dic-16	mar-17	Rango histórico	Percentil 90	dic-16	mar-17	Rango histórico	Percentil 90
Guajira alta	Bahía Hondita	-	6,8	6,8	-	-	<1,8	<1,8	-
	Cabo de la Vela	350	920	<1,8 -110.000	468	46	280	<1,8 -1.600	640
	F. Manaure	17	14	14 -240	-	<1,8	4	<1,8 -4	-
	Manaure - Salina	22	22	22 -240	-	2	14	2 -14	-
	Playa Manaure	170	14	2 -16.000	2.400	94	<1,8	<1,8 -1.600	800
	Puerto Bolívar	920	70	<1,8 -1.700	1.600	540	<1,8	<1,8 -1.600	1.282
	Puerto Nuevo	33	240	4,5 -240.000	8.060	7,8	79	<1,8 -9.200	1.880
	P. Cabo de la Vela	540	6,8	<1,8 -1.600	468	94	<1,8	<1,8 -1.600	132
Guajira baja	F. Camarones	33	240	<1,8 -54.000	532	<1,8	22	<1,8 -49	31
	F. Cañas	23	220	<1,8 -110.000	-	<1,8	140	<1,8 -14.000	-
	F. Jerez	280	540	340 -92.000	-	170	140	13 -220	-
	F. Palomino	540	170	90 -1.700	-	130	33	33 -1.600	-
	TermoGuajira	240	140	31 -240	-	49	33	11 -60	-
	Playa Camarones	170	22	<1,8 -54.000	7.520	22	11	<1,8 -606	295
	Playa Dibulla	17	220	<1,8 -9.200	3.500	17	39	<1,8 -700	455
	Río Cañas	3.500	790	<1,8 -110.000	75.100	3.500	230	<1,8 -33.000	26.400
	Río Jerez	3.500	16.000	340 -92.000	30.800	3.500	16.000	<1,8 -24.000	9.200
	Río Palomino	16.000	4.900	230 -54.000	25.100	16.000	230	<1,8 -35.000	16.000
Río Tapia	-	5.400	5.400	-	-	390	390	-	
Riohacha	Frente a Ranchería	16.000	1.700	<1,8 -160.000	59.200	790	1.100	<1,8 -7.800	3.880
	Muelle Riohacha	1.600	240	<1,8 -17.000	9.200	5.400	13	<1,8 -11.000	3.240
	Playa Mayapo	79	350	<1,8 -17.000	16.800	6,8	240	<1,8 -17.000	13.677
	Playa Riohacha	1.600	13	<1,8 -46.000	14.940	1.600	13	<1,8 -46.000	3.500
	Río Ranchería	-	2.400	450 -920.000	81.200	-	1.300	<1,8 -540.000	35.000

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		dic-16	mar-17	Rango histórico	Percentil 90	dic-16	mar-17	Rango histórico	Percentil 90
	Vertimiento Riohacha	490	130	<1,8 - 1.600.000	25.800	490	9,3	<1,8 - 1.600.000	92.800
Límite permisible contacto primario		1.000				200			
Límite permisible contacto secundario		5.000				-			

Los EFE fluctuaron entre <1 y 200 UFC/100 mL en diciembre de 2016, y entre 2 y 430 UFC/100 mL en marzo de 2017. Teniendo en cuenta los valores de referencia de la [OMS \(2003\)](#), en el muestreo de diciembre de 2016, el 47 % de las estaciones presentaron un riesgo <1% de contraer enfermedades gastrointestinales (EGI) y <0,3 % de contraer enfermedades respiratorias febriles agudas (ERFA) y un 53 % de las estaciones presentó un riesgo entre 1 y 5 % de contraer EGI y entre 0,3 y 1,9 % de contraer ERFA, principalmente en las estaciones frente del río Ranchería, Muelle Riohacha, Punta Cabo de la Vela, Puerto Bolívar, TermoGuajira, Vertimiento Riohacha y en las playas Dibulla, Riohacha y Camarones (Tabla 4.3).

En el muestreo de marzo de 2017, un 63% de las estaciones presentaron riesgos de <1% de contraer EGI y <0,3% de contraer ERFA, seguido de un 37% de las estaciones con riesgos entre 1 y 5 % de contraer EGI y de 0,3 y 1,9 % de contraer ERFA (Tabla 4.3), esto debido a que sus concentraciones de EFE estuvieron entre 41 y 200 UFC/ 100 mL (estaciones Cabo de la Vela, playa Manaure, Puerto Nuevo, frente a Camarones, playa Dibulla, frente del río Ranchería y playa Mayapo).

Estos resultados indican que el contacto de las poblaciones costeras con estas aguas podría representar un riesgo para la salud, debido a que los enterococos que tienen la capacidad de crecer en ambientes salinos con temperaturas entre 15 y 35 °C ([Santos, 2004](#); [Davis et al., 1995](#)) y actúan como agentes productores de enfermedades diarreicas agudas, respiratorias o infecciones en la piel ([Pulido et al. 2005](#); [PNUMA, 2003](#); [Herrera, 2005](#)).

Cabe destacar, que las concentraciones de EFE registradas, están dentro de los rangos históricos medidos entre 2006 y 2017 por la REDCAM en el departamento (Tabla 4.3). A igual que los coliformes, los EFE en general presentaron mayores concentraciones en diciembre de 2016, con respecto al muestreo de marzo de 2017, debido a las altas precipitaciones presentadas durante diciembre de 2016, principalmente desde la zona de Riohacha hacia el sur de La Guajira, que permiten un mayor aporte de los ríos al mar y con estos mayor carga de contaminantes ([Davis et al., 1995](#); [Signoretto et al., 2005](#)). No obstante, las estaciones Cabo de la Vela, frente de Manaure, Manaure Salina, playa Manaure, Puerto Nuevo, frente Camarones, frente del río Cañas y playa Mayapo presentaron mayores concentraciones de EFE en marzo de 2017 en comparación con diciembre de 2016. Lo anterior posiblemente debido a aportes de aguas contaminadas o a la dinámica hídrica propia de las estaciones, las cuales permiten el mantenimiento de sólidos suspendidos por tiempos más prolongados, favoreciendo la permanencia de estos microorganismos y el incremento de sus poblaciones ([Signoretto et al., 2005](#); [Davis et al., 1995](#)).

Tabla 4.3. Enterococos fecales (EFE) medidos en las estaciones de la REDCAM en el departamento de La Guajira, en los muestreos diciembre de 2016 y marzo de 2017, y el registro histórico 2001-2016. *valor de referencia de la OMS (2003) para el riesgo de contraer enfermedades Gastrointestinales (EGI) y Respiratoria Febril Aguda (ERFA) respectivamente. No medido (-).

Zona	Estación	Muestreo		EFE (UFC/100 mL)	
		dic-16	mar-17	Rango histórico (2001-2016)	Percentil 50
Guajira Alta	Cabo de la Vela	23	430	< 1 -840	4,5
	F. Manaure	< 1	10	< 1 -10	5
	Manaure -Salina	< 1	8	< 1 -8	4
	P. Cabo de la Vela	159	32	< 1 -190	2
	P. Manaure	8	60	3 -1.225	42,5
	Puerto Bolívar	125	23	< 1 -2.000	20,5
	Puerto Nuevo	35	90	1 -90	40,5
Guajira Baja	F. Camarones	20	49	< 1 -49	9,5
	F. Cañas	0	37	< 1 -37	14
	F. Jerez	200	32	5 -200	32
	F. Palomino	28	23	23 -2000	28
	P. Camarones	42	5	1 -71	8
	P. Dibulla	71	45	1 -287	56,5
	TermoGuajira	120	35	3 -120	35
Riohacha	F. Ranchería	200	112	< 1 -200	32
	Muelle Riohacha	200	3	< 1 -490	34
	P. Mayapo	35	110	< 1 -110	18
	P. Riohacha	52	3	< 1 -444	20
	Vertimiento Riohacha	104	2	2 -290	20
*Valores de referencia OMS (2003)	<40 UFC/100 mL, <1% de contraer EGI y <0,3% de contraer ERFA.				
	41–200 UFC/100 mL, 1–5% de EGI y 0,3-1,9% de ERFA.				
	201–500 UFC/100 mL, 5–10% de EGI y 1,9–3,9% de ERFA.				
	>500 UFC/100 mL, >10% de EGI y >3,9% de ERFA				

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) en el agua superficial de las estaciones del departamento, oscilaron entre 0,07 y 4,01 µg de HPDD/L en el muestreo de diciembre de 2016 y entre 0,09 y 1.03 µg de HPDD/L en el muestreo de marzo de 2017 (Figura 4.9). Las concentraciones más altas se registraron en diciembre de 2016, en las estaciones río Ranchería, playa Riohacha, Puerto Bolívar y Puerto Nuevo (Figura 4.9), lo cual se asocia al tránsito de embarcaciones y a la actividad minera a lo largo de la cuenca del río Ranchería (INVEMAR, 2017d; Palmarroza, 2017). No obstante, teniendo en cuenta lo descrito por Zanardi *et al.* (1999) y Acuña-González *et al.* (2004), las estaciones Puerto Bolívar, frente del río Ranchería y Playa Riohacha presentan contaminación baja por HPDD al no superar los 5 µg/L (Figura 4.9).

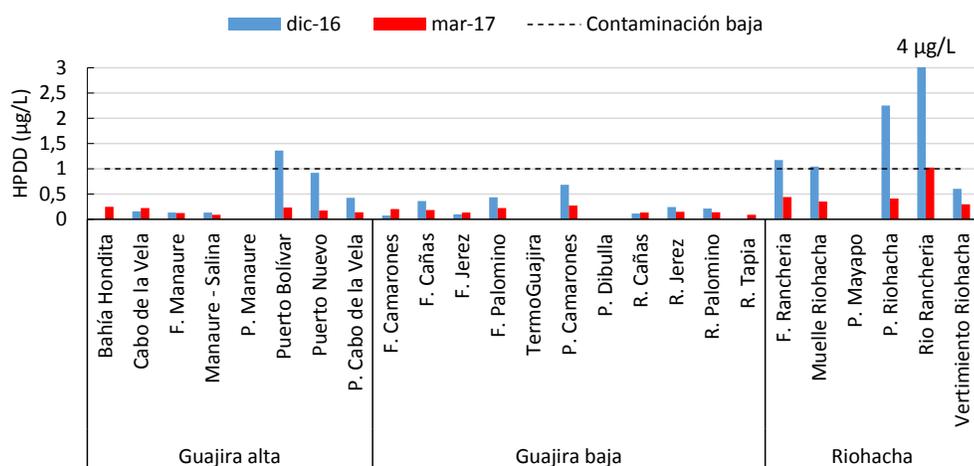


Figura 4.9. Concentraciones de HPDD en las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira durante el muestreo realizado en diciembre de 2016 y marzo de 2017. Las líneas punteadas indican rango de referencia para aguas marinas y estuarinas con contaminación baja por HPDD, según [Zanardi et al. \(1999\)](#) y [Acuña-González et al. \(2004\)](#).

Históricamente, las estaciones Cabo de la Vela, Puerto Bolívar, Puerto Nuevo, frente del río Ranchería y río Ranchería, han presentado concentraciones de HPDD cercanas a los valores de referencia de contaminación baja (Figura 4.10). En el muestreo del segundo semestre del año 2013, se registró en la estación río Ranchería, la mayor concentración de HPDD de la REDCAM para este departamento (49,6 µg/L), considerándose aguas contaminadas. Este resultado fue atribuido a la fuerte actividad minera en la cuenca alta del río ([Palmarroza, 2017](#)) y el incremento de las lluvias que produjo el arrastre de los residuos de estas actividades hacia la zona marino-costera. A partir del 2014 las concentraciones de HPDD se han mantenido por debajo de <10 µg de HPDD/L (Figura 4.10; [INVEMAR, 2017a](#)).

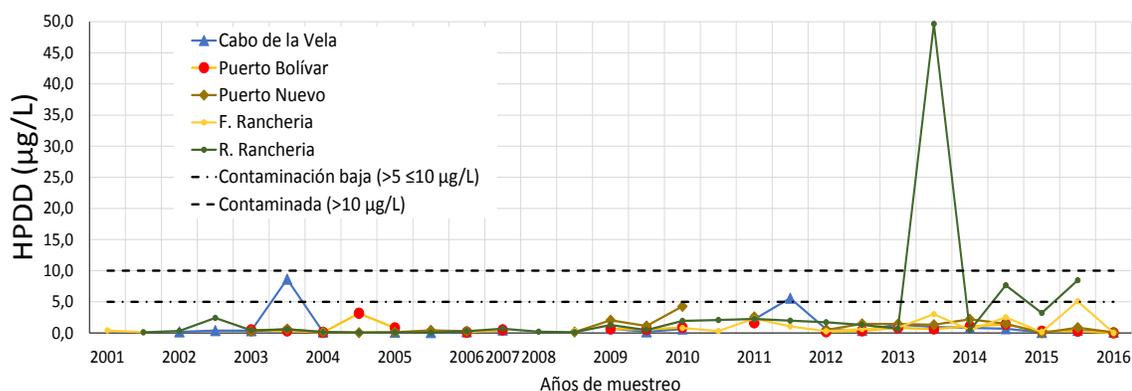


Figura 4.10. Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de crisenos (HPDD) registrados entre los años 2001 a 2016 en las estaciones Cabo de la Vela, Puerto Bolívar, Puerto Nuevo, frente del río Ranchería y río Ranchería de la REDCAM. Valores de referencia de >10 µg/L para aguas contaminadas, >5 <10 µg/L para aguas costeras con contaminación baja y de 1 µg/L para aguas con contaminación no significativa ([UNESCO, 1984](#); [Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-González et al., 2004](#)).

En los muestreos de diciembre de 2016 y marzo de 2017, se cuantificaron cuatro de los 41 compuestos plaguicidas medidos en las estaciones de la REDCAM de La Guajira (Tabla 4.4). En diciembre de 2016, se encontró el organoclorado Endrin, en la estación frente del río Palomino (27,6 ng/L) y el organofosforado Metil Paratión en la estación frente del río Ranchería (570 ng/L; Tabla 4.4), lo cual indica que estos compuestos están siendo utilizados en la cuenca de estos ríos y llegando a la zona marino-costera de La Guajira. La concentración de Metil paratión en frente del río Ranchería superó los valores de referencia de efectos crónicos (13ng/L) y agudos (65 ng/L) en la biota acuática propuesto por la [EPA \(2016\)](#).

Cabe destacar que, en Colombia, mediante la Resolución 010255 del 9 de diciembre de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, se permitió el uso del Metil Paration mezclado con Toxafeno en bajos volúmenes por vía aérea como insecticidas para cultivos. No obstante, debido a su categoría toxicológica I ([Varona et al., 2009](#)), en 1996 por Resolución 2471 de 1991 del ICA se restringió su uso únicamente a plagas del algodón y de arroz tecnificado, además de ser utilizado en cultivos ilícitos ([Bonilla et al., 2000](#)). Según [Varona et al. \(2009\)](#), el metil paration es uno de los plaguicidas usados en el departamento de La Guajira en un 44%, lo cual explica su presencia en las aguas de marino costeras.

En el muestreo realizado en marzo de 2017, se cuantificaron los organofosforados Clorotalonil (80,4 ng/L) y Bromacil (430 ng/L), en la estación río Cañas (Tabla 4.4). Para estos compuestos no se tiene valores de referencia para efectos adversos en la biota acuática ([Buchman, 2008](#); [EPA, 2016](#)). En las demás estaciones los plaguicidas estuvieron por debajo de los límites de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR en ambos muestreos y no superaron los valores de referencia disponibles para efectos crónicos y agudos en la biota acuática para los plaguicidas analizados (Tabla 4.4).

De acuerdo con los registros históricos de la REDCAM el Metil Paratión ha sido reportado frente del río Cañas (57,54 ng/L), río Cañas (37,13 ng/L) y frente del río Palomino (19,75 ng/L) en 2010 durante el muestreo realizado en época de lluvias ([INVEMAR, 2017a](#)). Por su parte, Clorotalonil fue reportado en 2009 en la estación río Ranchería (115,60 ng/L) y Cabo de la Vela (20,70 ng/L), así como Endrin Cetona en la estación frente del río Ranchería (4,20 ng/L; [INVEMAR, 2017a](#)).

Tabla 4.4. Plaguicidas reportados en las estaciones de la REDCAM en el departamento de La Guajira, en los muestreos diciembre de 2016 y marzo de 2017, límites de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR y valores de referencia para agua dulce, marina y estuarina.

Muestreo	Tipo de plaguicida reportado	Estación	Concentración registrada (ng/L)	Límite de cuantificación (ng/L)	Valor de referencia		Fuente bibliográfica
					Agua dulce	Agua marina y estuarina	
dic 2016	Endrin	Frente a Palomino	27,6	<26,3	Efectos crónicos: 36 ng/L Efectos agudos: 86 ng/L	Efectos crónicos: 2,3 ng/L Efectos agudos: 370 ng/L	EPA (2016)
	MetilParation	Frente a Ranchería	570	<21,3	Efectos crónicos: 13 ng/L Efectos agudos: 65 ng/L	Sin referencia	No hay referencia, pero se usa el valor de Paration en EPA (2016)
mar 2017	Clorotalonil	Río Cañas	80,4	<43,8	Efectos crónicos: 180 ng/L	Efectos crónicos: 360 ng/L	Buchman (2008)
	Bromacil		430	<18,5	Efectos crónicos: 5000 ng/L	Sin referencia	Buchman (2008)

En la Tabla 4.5 se muestran las concentraciones de los metales pesados disueltos, medidos en las estaciones REDCAM en La Guajira en los muestreos de diciembre 2016 y marzo de 2017. En el muestreo de diciembre de 2016, las concentraciones de cadmio (Cd) estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR (Tabla 4.5). Las concentraciones de Plomo (Pb), oscilaron entre <3,1 y 4,04 µg Pb/L; las de níquel (Ni) entre <1,0 y 1,83 µg Ni/L; las de Cobre (Cu) entre <0,9 y 2,18 µg Cu/L; y las de Zinc (Zn) entre <6,9 y 18 µg Zn/L. No obstante estos valores se encontraron por debajo de las referencias para efectos crónicos para agua marina y estuarina y no representaron un riesgo para la biota acuática ([Buchman, 2008](#); [CONAMA, 2005](#); [EPA, 2016](#)).

Con respecto a las concentraciones de hierro (Fe), en el muestreo de diciembre de 2016 se determinaron valores entre <4,7 y 98,40 µg Fe/L, siendo la estación río Ranchería la que presentó la mayor concentración (98,40 µg Fe/L), seguido de los ríos Palomino (47,4 µg Fe/L) y Jerez (46,7 µg Fe/L; Tabla 4.5). Ninguna de las estaciones superó los valores de referencia de Fe para efectos crónicos y agudos en los organismos marinos y de agua dulce ([Buchman, 2008](#); Tabla 4.5).

En el muestreo realizado en marzo de 2017, las concentraciones de Pb, Cd y Ni estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR (Tabla 4.5). El Zn fue cuantificado en la estación Cabo de la Vela (14,8 µg Zn/L); el Cu en las estaciones río Ranchería (1,78 µg Cu/L) y ríos Cañas (1,26 µg Cu/L), sin que estos metales presenten riesgo para los organismos de acuerdo con [Buchman \(2008\)](#) y [EPA \(2016\)](#). A su vez, durante el muestreo de marzo de 2017 se registraron concentraciones entre <4,7 y 31,4 µg Fe/L, siendo la estación río Tapia (31,4 µg Fe/L) la que presentó la mayor concentración seguida de río Cañas (22,6 µg Fe/L) y río Palomino (18,7 µg Fe/L), sin representar riesgos para los organismos ([Buchman, 2008](#)).

Tabla 4.5. Metales pesados disueltos medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira. Los valores de referencia para efecto crónico y agudo en la biota acuática corresponde a Screening Quick Reference Tables ([Buchman, 2008](#)). No medidos o sin valor de referencia (-). Las casillas sombreadas con color gris corresponden a estaciones fluviales, y las no sombreadas son estaciones marinas y estuarinas. Valores con el signo (<) corresponde al límite de cuantificación del método para cada metal usado en el LABCAM del INVEMAR.

Zona/Estación		Pb (µg/L)		Cd (µg/L)		Cu (µg/L)		Zn (µg/L)		Ni (µg/L)		Fe (µg/L)	
		dic-16	mar-17	dic-16	mar-17	dic-16	mar-17	dic-16	mar-17	dic-16	mar-17	dic-16	mar-17
Guajira Alta	Bahía Hondita	-	<3,1	-	<0,42	-	<0,9	-	<6,9	-	<1,0	-	9,62
	Cabo de la Vela	4,04	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	<6,9	14,8	1,83	<1,0	14,6	9,48
	F. Manaure	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	5,01	<4,7
	Manaure - Salina	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	<4,7
	P. Cabo de la Vela	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	15,6
Guajira Baja	F. Camarones	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	10,8
	F. Cañas	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	7,30
	F. Jerez	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	8,77	<4,7

Zona/Estación	Pb (µg/L)		Cd (µg/L)		Cu (µg/L)		Zn (µg/L)		Ni (µg/L)		Fe (µg/L)		
	dic-16	mar-17	dic-16	mar-17	dic-16	mar-17	dic-16	mar-17	dic-16	mar-17	dic-16	mar-17	
F. Palomino	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	7,28	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	7,30	
TermoGuajira	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	6,94	<6,9	<1,0	<1,0	5,59	<4,7	
P. Camarones	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	11,1	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	<4,7	
R. Cañas	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	8,49	<6,9	<1,0	<1,0	46,7	22,6	
R. Jerez	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	40,6	11,1	
R. Palomino	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	1,26	7,57	<6,9	<1,0	<1,0	47,4	18,7	
R. Tapia	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	31,4	<4,7	
Riohacha	F. Rancheria	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	7,64
	Muelle Riohacha	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	9,28	<6,9	<1,0	<1,0	7,89	5,32
	R. Ranchería	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	2,18	1,78	18,9	<6,9	<1,0	<1,0	98,4	7,78
	P. Riohacha	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	5,20	5,37
	Vertimiento Riohacha	<3,1	<3,1	<0,42	<0,42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	7,06
Efectos crónicos agua marina	8,1		8,8		3,1		81		8,2		50		
Efectos agudo agua marina	210		40		4,8		90		74		300		
Efectos crónicos agua dulce	2,5		-		9		120		52		350		
Efectos agudo agua dulce	65		2		13		120		470		-		

4.2.1 Calidad del agua de acuerdo con el ICAM_{PPF}

La aplicación del ICAM_{PPF} mostró que en diciembre de 2016, la calidad del agua superficial del 42% de las estaciones marinas evaluadas fue inadecuada, el 32% aceptable, el 16% aceptable y el 11% pésima (Figura 4.11a). El alto porcentaje de estaciones con calidad inadecuada y pésima responde a las elevadas concentraciones de SST y CTE, que se asocia a mayores aportes continentales por los ríos en la época de lluvias. De acuerdo con las opciones de medida, se recomienda continuar con el monitoreo y evaluación de las características fisicoquímicas semestralmente. En marzo de 2017, la calidad de las aguas desmejoró, aumentando el porcentaje de estaciones con calidad inadecuada a 50% y aceptable a 30%, debido al aumento de las concentraciones de SST y de CTE; y disminuyó la proporción de estaciones con calidad adecuada a 20% (Figura 4.11b). En las estaciones frente al río Ranchería y Muelle Riohacha, la calidad del agua mejoró, debido al descenso de los aportes del río Ranchería, condición normal durante la época seca.

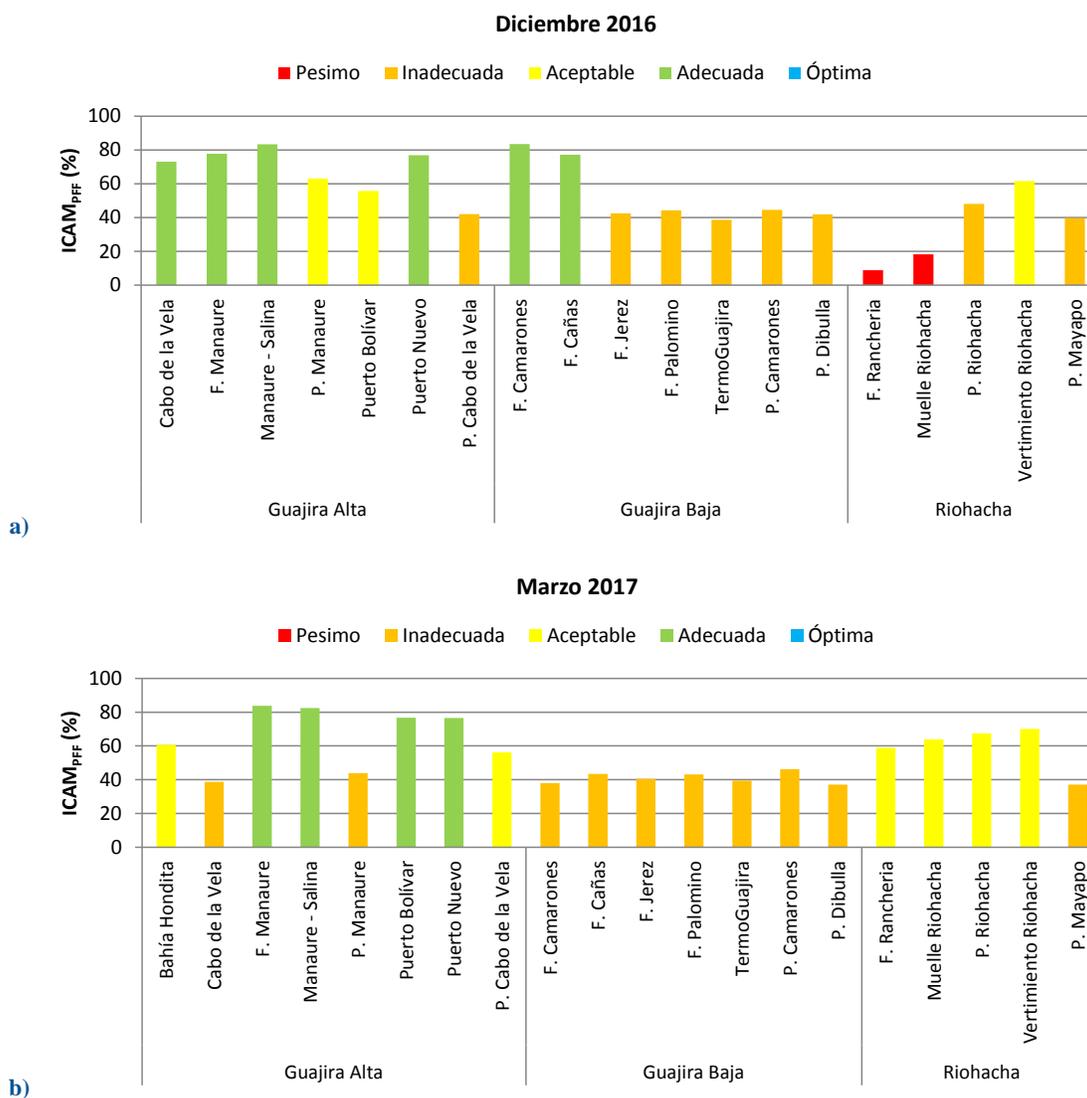


Figura 4.11. Calidad de las aguas en las estaciones marinas de la REDCAM en el departamento de La Guajira en el muestreo de diciembre de 2016 (a) y marzo de 2017 (b), evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

En la Tabla 4.6 se presenta la proporción de estaciones con calidad pésima, inadecuada, aceptable y adecuada en las zonas de muestro en los últimos cuatro años (2013-2016), según el ICAM_{PFF}. En la zona de Guajira Alta, la calidad ha sido adecuada, presentando un ligero aumento del 2014 (57%) al 2016 (71%), debido a que en esta zona aún se mantienen condiciones naturales y poca intervención antrópica, aunque también se presentan condiciones inadecuadas y aceptables en bajas proporciones. En esta zona solo en el 2014 se presentó una condición pésima en la estación Punta del Cabo de la Vela que respondió a una alta concentración de sólidos suspendidos totales, asociados a procesos erosivos y de resuspensión ([Vivas-Aguas et al., 2015](#)). En la zona de la Guajira Baja entre 2013 y 2014 se ha determinado un mayor número de estaciones con calidad adecuada e inadecuada. Las estaciones con calidad inadecuada han sido las de los frentes de los ríos, los cuales reciben los mayores aportes continentales de

nutrientes y sólidos en suspensión por los ríos que circulan por áreas agrícolas y urbanas. Entre 2015 y 2016 la proporción de estaciones con calidad adecuada y aceptable aumentaron, debido a que estos años fueron muy secos, y los aportes de los ríos disminuyeron ([IDEAM, 2017e](#)). En la zona de Riohacha, los porcentajes de estaciones con calidad pésima e inadecuada son mayores por la influencia del río Ranchería y los vertimientos de aguas residuales en la playa de Riohacha que deteriora la calidad de las aguas a causa de altas concentraciones de nutrientes, sólidos suspendidos y coliformes termotolerantes.

Tabla 4.6. Distribución porcentual (%) de las condiciones de calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las zonas del departamento de La Guajira en el periodo de 2013 a 2016.

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada
2013	Guajira Alta		14%	29%	57%
	Guajira Baja		27%	9%	64%
	Riohacha		80%	20%	
2014	Guajira Alta	7%	7%	29%	57%
	Guajira Baja		23%	15%	62%
	Riohacha	13%	38%		50%
2015	Guajira Alta		14%	21%	64%
	Guajira Baja	8%	8%	42%	42%
	Riohacha		38%	13%	50%
2016	Guajira Alta			29%	71%
	Guajira Baja			29%	71%
	Riohacha		75%		25%

4.3 CALIDAD DE SEDIMENTOS

En diciembre de 2016 se evaluó la calidad del sedimento en la estación frente del río Ranchería. Para marzo de 2017, en esta estación no se continuó evaluando su calidad debido a condiciones de seguridad física, por lo cual se decidió establecer una nueva estación para el monitoreo de sedimentos en la zona del vertimiento de aguas residuales de la ciudad de Riohacha, una fuente de contaminación puntual relevante, de la cual se requiere información para la gestión por parte de Corpoguajira y se adicionaron dos estaciones que se ubicaron en bahía Hondita en la zona Guajira Alta y en el río Tapia a la altura del puente Bomba en la zona de Guajira Baja.

En la estación frente del río Ranchería en diciembre de 2016, el contenido de materia orgánica oxidable fue de 3,31 mg/g. Comparando este resultado con los muestreos de octubre de 2013 (8,3 mg/g), abril de 2014 (0,7 mg/g), noviembre de 2014 (2,5 mg/g), abril de 2015 (3,7 mg/g), noviembre de 2015 (2 mg/g) y abril de 2016 (3,8 mg/g) ([INVEMAR, 2017d](#)), se observa que la concentración de materia orgánica en los sedimentos del río ha variado por su dinámica y por efecto de las corrientes marinas.

En el muestreo de marzo de 2017, en el río Tapia la concentración de materia orgánica oxidable fue 1,76 mg/g; en bahía Hondita 7,95 mg/g y en el vertimiento de Riohacha 9,72 mg/g. En el río Tapia, la concentración baja responde a la dinámica del río, el cual hace que la materia orgánica se mantenga suspendida en el agua por un tiempo, posteriormente esta puede sedimentarse, ser resuspendida y transportada hacia el mar Caribe ([Tamaris y Rodríguez, 2015](#)).

En cuanto a la estación bahía Hondita, la concentración determinada puede asociarse a los aportes autóctonos del plancton por la alta productividad primaria influenciada por aguas ricas en nutrientes ([Álvarez-León et al., 1995](#)), que se ha evidenciado con las altas concentraciones de clorofila a (entre 4 y 60 $\mu\text{g Cha/L}$; <http://www.worldwaterquality.org/>), así como los provenientes de macroalgas marinas, pastos marinos y detritus del manglar que se desarrolla en la zona de la bahía ([IDEAM et al., 2007](#)); y en la estación vertimientos Riohacha se debe a las aguas residuales de la ciudad.

La concentración de hidrocarburos del petróleo equivalente de criseno (HP) en el sedimento de la estación frente al río Ranchería, en diciembre de 2016 en fue de 0,15 $\mu\text{g HP/g}$, valor que se considera natural al no sobrepasar los 15 $\mu\text{g HP/g}$ ([Massoud et al. 1998](#)). En el registro histórico de la REDCAM, se hayan valores entre <0,07 y 0,9 $\mu\text{g HP/g}$ ([INVEMAR, 2017d](#)), lo cual indica que en los sectores evaluados no hay contaminación por estos compuestos (>15 $\mu\text{g HP/g}$; [Massoud et al. 1998](#)).

En marzo de 2017, se determinaron las concentraciones de 16 compuestos de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los sedimentos de las estaciones río Tapia, vertimiento Riohacha y bahía Hondita. En todas las estaciones, las concentraciones de estos compuestos estuvieron por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica utilizada.

En diciembre de 2016, en los sedimentos de la estación frente del río Ranchería, se encontró Methyl Parathion en una concentración de 29 ng/g. Este organofosforado usado como acaricida e insecticida, está dentro de la lista de sustancias peligrosa de los estados unidos por su alta toxicidad y peligrosidad para el ambiente y la salud humana ([BVSDE, 2003](#)), no obstante, para este compuesto no se cuenta con valor de referencia para efectos adversos sobre la biota acuática ([Buchman, 2008](#)).

En marzo de 2017, en los sedimentos de la estación bahía Hondita, se cuantificó el plaguicida Aldrín en una concentración de 2,4 ng/g. Este organoclorado era usado como insecticidas en cultivos, es altamente tóxico y está prohibido su uso en Colombia (Resolución 447 de 1974 del Ministerio de Agricultura). Es importante que se identifique la fuente posible de este contaminante en la bahía. Para este compuesto no se tiene valor de referencia de efectos adversos en sedimentos marinos ([Buchman, 2008](#)). Los demás plaguicidas medidos en los dos muestreos estuvieron por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica utilizada en el LABCAM del INVEMAR, y por debajo de las referencias de efectos probables descritos en [Buchman \(2008\)](#).

Los metales pesados totales medidos en los sedimentos de las estaciones frente al río Ranchería en diciembre de 2016, vertimiento Riohacha, bahía Hondita y río Tapia en marzo de 2017, se presentan en la Tabla 4.7. En el río Tapia, las concentraciones de cromo (64,6 $\mu\text{g/g}$) y níquel (19,8 $\mu\text{g Ni/g}$) superaron los valores de referencia de efecto umbral propuesto por la NOAA ([Buchman, 2008](#)), por encima del cual, los efectos adversos son posibles. Estos niveles corresponden a una concentración total, por lo cual es importante que se realicen estudios de la concentración biodisponible, para reducir la incertidumbre en la evaluación del riesgo ambiental. La fuente de estos metales puede ser la roca madre de la zona, o los plaguicidas utilizados en los cultivos de tabaco, banano, cacao y palmas que contienen algunas concentraciones traza de estos metales ([Corpogujaira y Unimagdalena, 2013](#); [Defarge et al., 2018](#)). Las concentraciones de los metales pesados en las demás estaciones estuvieron por

debajo de los valores de referencia umbral (TEL) y probable (PEL) para efectos adversos en la biota acuática (Buchman, 2008).

En la estación frente del río Ranchería se tienen registros de metales pesados desde el año 2013 hasta el 2016 (INVEMAR, 2017d). El valor histórico más alto (46,6 µg de Pb/g) que además superó el valor de referencia TEL (30,2 µg/g; Buchman, 2008), se determinó en abril del 2014, sin embargo en los muestreos posteriores las concentraciones estuvieron entre <4,0 y 8 µg de Pb/g. En abril del 2014, la concentración de Ni fue 42,8 µg/g, estando en límite del valor de referencia PEL. El Cd en esta estación ha estado por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR. El Cu ha oscilado entre <1,9 y 5,1 µg/g, y el Zn entre <4,3 y 29 µg/g (INVEMAR, 2017d).

Tabla 4.7. Metales pesados totales en los sedimentos de las estaciones REDCAM en La Guajira, determinados en los muestreos realizados en diciembre de 2016 y marzo de 2017. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y probables (PEL) se tomaron de Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). Sin referencia (-).

Estación	Fecha	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)	Hg (ng/g)
F. Ranchería	05/12/2016	<4,0	<0,5	33,6	5,82	21,4	<2,0	11,8	5,0
Vertimiento Riohacha	07/03/2017	10,1	<0,5	10,9	2,57	22,3	<2,0	6,5	5,6
Bahía Hondita	08/03/2017	13,5	<0,5	16,8	<1,9	32,2	3,0	7,8	4,5
R. Tapia	09/03/2017	11,6	<0,5	64,6	15,1	44,9	19,8	3,5	6,8
Referencia TEL		30,2	0,68	52,3	18,7	124	15,9	-	130
Referencia PEL		112	4,2	160	108	271	42	-	700

4.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ En la mayor parte de las estaciones REDCAM de La Guajira, la calidad de las aguas marinas y costeras superficiales presentó calidad idadecuada para la preservación de la flora y fauna acuática (42% en diciembre de 2016 y 50% en marzo de 2017), debido a los altos aportes de solidos suspendidos totales y microorganismos indicadores de contaminación fecal, a través de las descargas de los ríos.
- ❖ La calidad microbiológica del agua en las playas turísticas de Manaure, Camarones y Dibulla fue adecuada para el uso recreativo por contacto primario y secundario según la legislación colombiana. En tanto que la calidad microbiológica de las playas Mayapo, Riohacha y Cabo de la Vela, se vio afectada por la temporada turística y la influencia del río Ranchería.
- ❖ Las aguas marino costeras del departamento, no presentan contaminación por hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno. Sin embargo, su presencia en el agua superficial en las estaciones REDCAM aumenta con las precipitaciones, principalmente en la zona de Riohacha y en las áreas con actividades portuarias como Puerto Nuevo y Puerto Bolívar.
- ❖ El agua superficial de la estación frente al río Ranchería, presenta contaminación por metil Paratión, en concentraciones que superan los valores propuestos por guías internaciones para efectos adversos en la biota acuática.

- ❖ Los metales pesados disueltos en el agua marina y costera en las estaciones REDCAM no representan riesgo de efectos crónicos y agudos para la biota acuática de La Guajira.
- ❖ Los sedimentos de las estaciones río Tapia, frente al río Ranchería, vertimientos Riohacha y bahía Hondita no están contaminación por hidrocarburos del petróleo, ni por metales pesados.
- ❖ Los sedimentos de las estaciones frente del río Ranchería y en la bahía Hondita continenen residuos de Endrín y metil paration. Se recomienda identificar la fuente de estos compuestos en la bahía Hondita para prevernir los riesgos ecológicos asociados a la contaminación.

MAGDALENA

Ostin Garcés-Ordóñez



Playa Muerto (Cristal), PNN Tayrona. Foto: Max Martínez.

EQUIPO TÉCNICO CORPAMAG

Alfredo Martínez – Subdirector de Gestión Ambiental
Eliana Álvarez Pineda – Ing. Ambiental, Profesional Especializada

5. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

En la zona costera del Magdalena se encuentran diferentes asentamientos humanos, los cuales cuentan con precarios servicios de saneamiento básico, adicionalmente en la zona costera del Departamento se realizan múltiples actividades socioeconómicas como agricultura, ganadería, operaciones portuarias, minería, comercio y turismo, entre otros que generan residuos contaminantes, los cuales en algunos casos llegan directa o indirectamente a lagunas costeras, ríos y al mar Caribe, deteriorando la calidad de las aguas marino-costeras y restringiendo sus usos ([Vivas-Aguas et al., 2014a](#)).

Con el propósito de obtener información que facilite la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena - CORPAMAG, para el manejo integral del medio ambiente marino, la REDCAM realiza desde el año 2001 la evaluación y diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, microbiológicas y de contaminantes orgánicos e inorgánicos. El presente informe contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras en base a los muestreos realizados en el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017.

5.1 ZONAS DE MONITOREO

Para evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento del Magdalena, la REDCAM cuenta con una red de 45 estaciones de muestreo, distribuidas en cinco zonas (Figura 5.1), las cuales se describen a continuación:

La zona de **Buritaca** comprende la cuenca baja de ríos que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta, Don Diego, Buritaca, Guachaca y Mendihuaca, los cuales circulan por extensas áreas agrícolas, principalmente de banano y café. Esta zona tiene ocho estaciones de muestreo de agua superficial y una estación de sedimento en frente del río Buritaca (Figura 5.1).

La zona de **Parque Tayrona** incluye estaciones como el río Piedras, las playas Cristal y Neguanje y las bahías Chengue y Concha. Esta zona se caracteriza por ser parque natural protegido, en donde se encuentran arrecifes coralinos, praderas de pastos marinos y manglares. En esta zona se cuenta con seis estaciones de agua superficial (Figura 5.1).

La zona de **Santa Marta** donde se llevan a cabo actividades portuarias importantes para la economía de la región, turismo de sol y playa, y comercio. En esta zona se realizan vertimientos de aguas residuales a través del emisario submarino, del río Manzanares y el rebosamiento de las alcantarillas. Cabe resultar que una porción importante de la población de Santa Marta, Taganga y el Rodadero, no están conectados al sistema de alcantarillado y realizan los vertimientos de aguas residuales directamente en cuerpos de agua o sobre el terreno ([INVEMAR y MADS, 2011](#)). En esta zona se tiene 16 estaciones de muestreo de agua superficial y dos de sedimentos que corresponde a los frentes de los ríos Manzanares y Gaira (Figura 5.1).

La zona **Costa Sur** cubre el área comprendida entre Pozos Colorados y Costa Verde, donde operan tres puertos carboníferos y se realizan actividades turísticas de sol y playa. En esta zona se tiene ocho estaciones de muestreo de agua superficial y tres de sedimentos en los puertos de Drumond, Río Córdoba y Nuevo (Figura 5.1).

La zona **Marina** con la estación frente a la Boca de La Barra que tiene influencia de la Ciénaga Grande de Santa Marta. En esta zona se tiene la estación frente a la boca de La Barra donde se muestrea agua superficial y sedimentos (Figura 5.1).

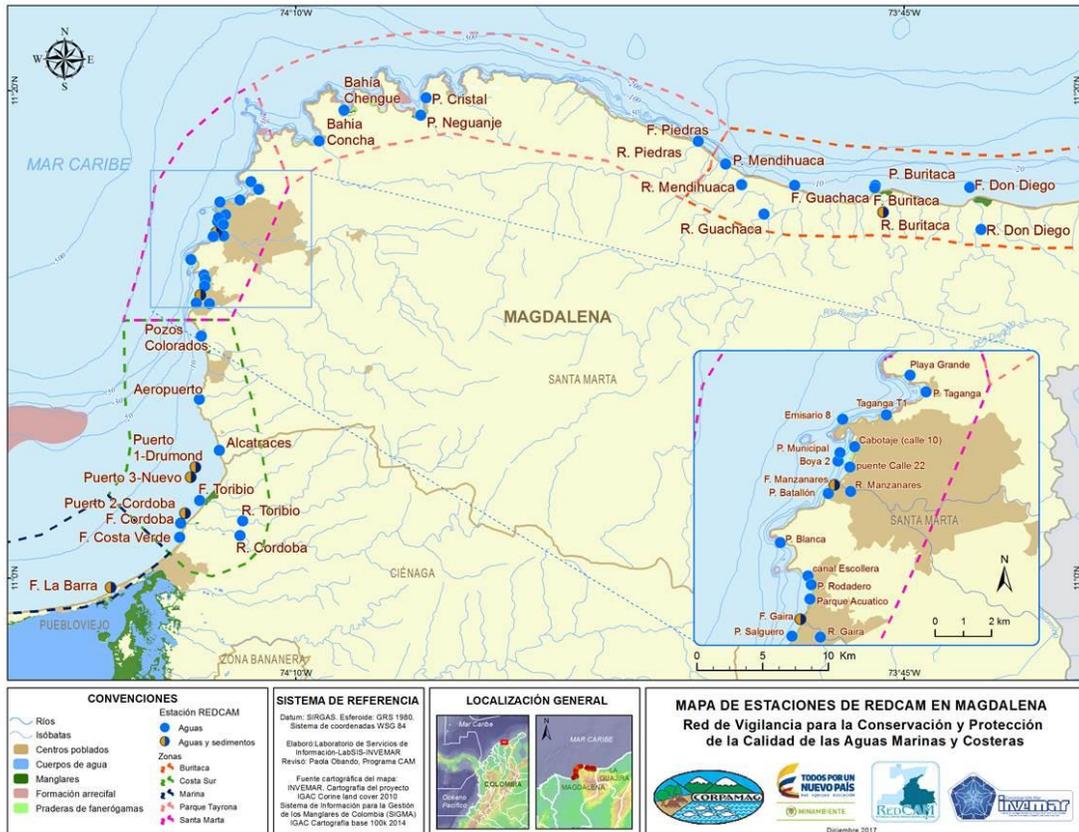


Figura 5.1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos azules y marrón con azul) en el departamento del Magdalena.

Los muestreos fueron realizados por el INVEMAR, entre los días 12 y 13 de diciembre de 2016 (en adelante, diciembre de 2016) y en los días 20 y 21 de febrero de 2017 (en adelante, febrero de 2017). En noviembre de 2016, se registraron precipitaciones entre 0 y 42 mm con una precipitación acumulada de 120 mm, en diciembre de 2016, entre 0 y 2 mm, con una precipitación acumulada de 12 mm y en febrero de 2017 no se registraron precipitaciones en el distrito de Santa Marta (IDEAM, 2017a).

5.2 CALIDAD DE LAS AGUAS

La temperatura del agua se midió entre las 8:00 am y 3:02 pm. En diciembre de 2016 la temperatura osciló entre 25,0 y 30,3 °C; y en febrero de 2017, entre 23,3 y 31,0 °C: Estos cambios de temperatura estuvieron relacionados con la hora del muestreo, siendo más frías durante la mañana y más cálidas cerca del mediodía y en la tarde (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Temperatura del agua superficial registrada de las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en diciembre de 2016 y febrero de 2017.

Zona	Estación	Diciembre 2016		Febrero 2017	
		Hora	Temperatura (°C)	Hora	Temperatura (°C)
Buritaca	F. Buritaca	11:19	27,4	10:12	26,1
	F. Don Diego	11:00	27,6	09:56	25,8
	F. Guachaca	11:40	27,2	10:39	26,0
	P. Buritaca	10:02	25,6	09:46	25,9
	P. Mendihuaca	11:54	27,5	10:51	26,2
	R. Buritaca	09:25	25,4	09:14	25,3
	R. Don Diego	09:05	25,0	08:45	23,3
	R. Mendihuaca	10:38	25,8	10:38	25,2
Parque Tayrona	Bahía Chengue	14:40	28,8	12:41	27,4
	Bahía Concha	15:02	28,1	13:10	26,3
	P. Cristal	13:10	26,3	12:17	26,7
	F. Piedras	12:08	27,7	11:01	26,1
	P. Neguanje	12:59	28,4	12:10	27,0
	R. Piedras	11:14	26,6	11:30	25,7
Santa Marta	Boya 2	12:40	28,3	12:20	26,7
	Cabotaje (calle 10)	13:03	28,7	12:43	28,1
	Canal Escollera	12:05	29,3	11:45	26,7
	Emisario 8	13:10	28,3	12:58	26,1
	F. Gaira	11:30	28,9	11:13	27,3
	F. Manzanares	12:30	28,0	12:10	26,6
	P. Batallón	12:25	28,7	12:03	26,8
	P. Blanca	12:15	28,1	11:54	26,9
	P. Municipal	13:00	29,1	12:37	27,9
	P. Rodadero	11:47	28,7	11:33	26,7
	P. Salguero	11:18	29,3	11:07	26,7
	P. Taganga	14:40	28,2	13:17	27,5
	Parque Acuático	11:40	27,9	11:25	27,4
	P. Grande	13:22	28,5	13:20	27,1
	Puente calle 22	12:51	29,0	12:29	28,5
R. Gaira	13:35	27,5	13:20	30,5	
R. Manzanares	12:05	26,4	12:38	31,0	
Taganga 1	14:56	28,8	13:05	27,3	
Costa Sur	Aeropuerto	10:54	30,3	10:44	27,8
	Alcatraces	10:44	30,3	10:34	29,0
	F. Córdoba	09:07	30,0	09:12	27,8
	F. Costa Verde	09:01	29,9	09:03	29,2
	F. Toribio	09:14	29,9	09:31	29,3
	Pozos Colorados	11:08	29,8	10:56	26,5
	Puerto 1- Drummond	10:29	30,1	10:14	28,9
	Puerto 2- SPRC	10:05	30,1	09:17	28,1
	Puerto 3- Nuevo	09:40	29,9	09:45	28,5
R. Toribio	13:02	25,4	15:10	26,9	
R. Córdoba	12:49	27,1	14:45	29,3	
Marina	F. La Barra	08:25	29,8	08:22	27,8

En diciembre de 2016 y febrero de 2017, la salinidad del agua superficial en las estaciones de muestreo osciló entre 0 y 37,5 (Figura 5.2). De acuerdo con la clasificación de las aguas por la salinidad descrita en [Knox \(2001\)](#), los frentes de los ríos Gaira y Manzanares se clasifican como

aguas marinas oligohalinas (>17-30) y las estaciones de playas como aguas marinas polihalinas (>34-38). En el muestreo de diciembre de 2016, se registraron salinidades menores en comparación con el muestreo realizado en febrero de 2017 (Figura 5.2). Estos resultados se relacionan con el aumento de las precipitaciones y el caudal de los ríos en diciembre de 2016, producto de las lluvias en el mes anterior (IDEAM, 2017a).

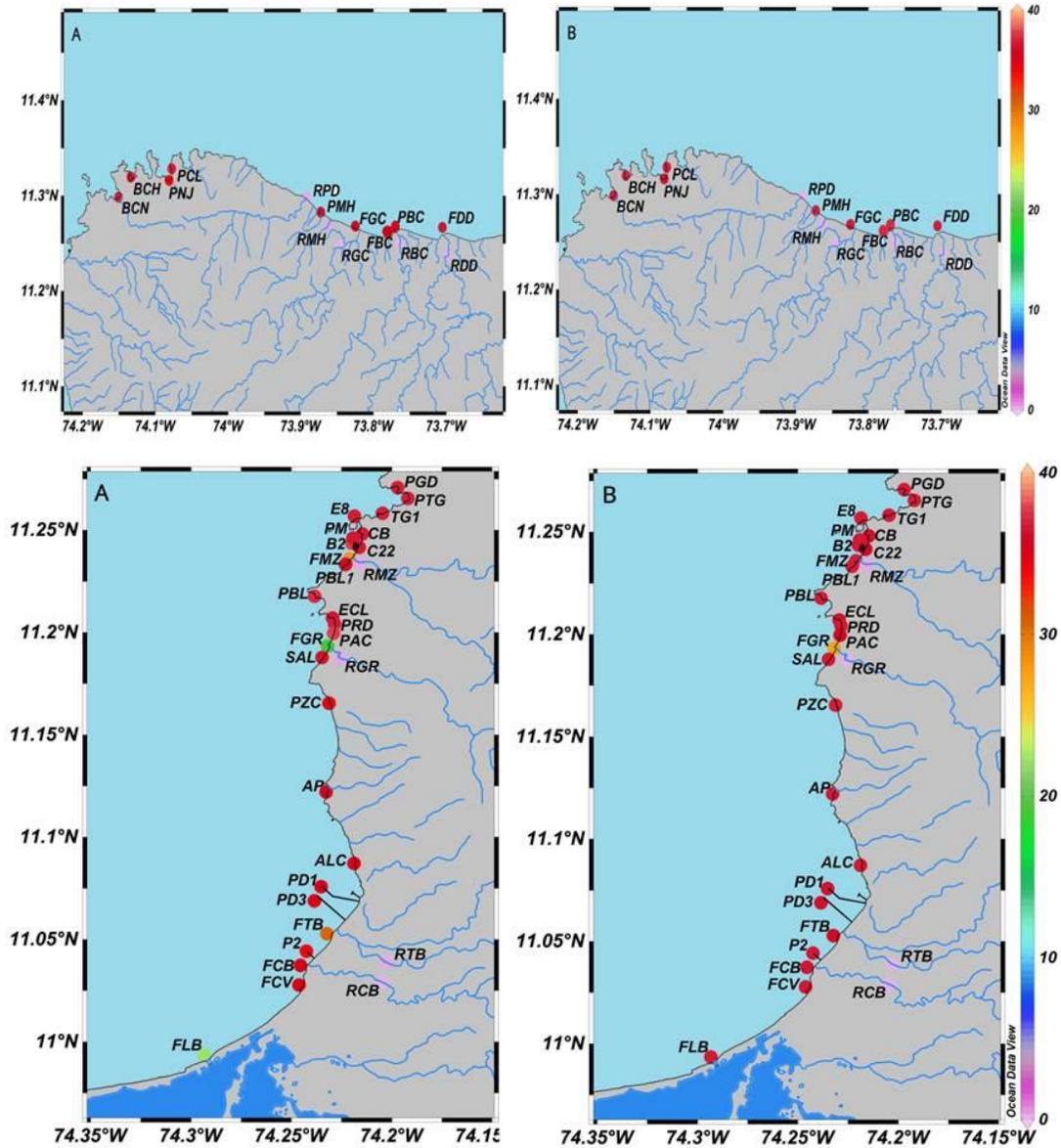


Figura 5.2. Salinidad (unidades) del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en diciembre de 2016 (A) y febrero de 2017 (B). Estaciones: PGD: P. Grande, PTG: P. Taganga, TG1: Taganga 1, E8: Emisario 8, CB: Cabotaje, PM: P. Municipal, B2: Boya 2, C22: Puente Calle 22, FMZ: F. Manzanares, RMZ: R. Manzanares, PBL: P. Blanca, PBL1: P. Batallón, ECL: Canal Escollera, PRD: P. Rodadero, PAC: Parque Acuático, FGR: F. Gaira, RGR: R. Gaira, SAL: P. Salguero, PZC :Pozos Colorados, AP: Aeropuerto, ALC: Alcatraces, PD1: Puerto Drummond 1, PD3: Puerto 3, FTB: F. Toribio, RTB: R. Toribio, P2: Puerto 2, FCB: F. Córdoba, FCV: F. Costa Verde, RCB: R. Córdoba, FLB: F. La Barra.

Durante los dos muestreos el oxígeno disuelto (OD) osciló entre 4,2 y 8,8 mg O₂/L, valores que se consideran adecuados para la biota acuática aerobia, al superar el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce, marinas y estuarinas de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984 (4 mg O₂/L; [MinSalud, 1984](#); Figura 5.3). Es importante aclarar que, en el muestreo realizado en diciembre de 2016, no se midió el OD en las estaciones de las playas Mendihuaca, Chengue, Concha, Cristal y Neguanje, y los frentes de los ríos Guachaca y Piedras por fallas técnicas en el equipo de medición.

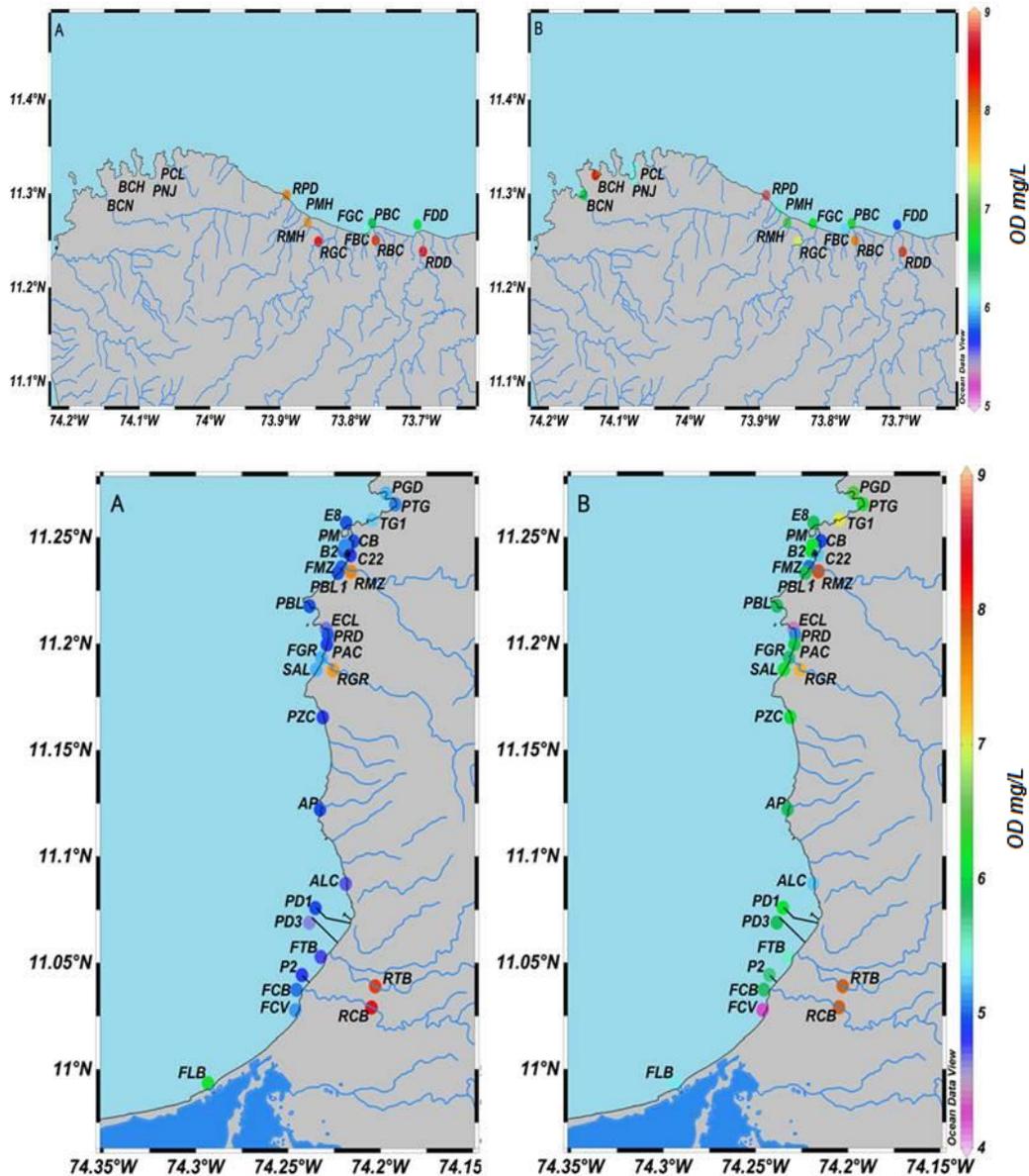


Figura 5.3. Oxígeno disuelto (mg/L) en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en los muestreos de diciembre de 2016 (A) y febrero de 2017 (B). Estaciones: PGD: P. Grande, PTG: P. Taganga, TG1: Taganga 1, E8: Emisario 8, CB: Cabotaje, PM: P. Municipal, B2: Boya 2, C22: Puente Calle 22, FMZ: F. Manzanares, RMZ: R. Manzanares, PBL: P. Blanca, PBL1: P. Batallón, ECL: Canal Escollera, PRD: P. Rodadero, PAC: Parque Acuático, FGR: F. Gaira, RGR: R. Gaira, SAL: P. Salguero, PZC :Pozos Colorados, AP: Aeropuerto, ALC: Alcatrazes, PD1: Puerto Drummond 1, PD3: Puerto 3, FTB: F. Toribio, RTB: R. Toribio, P2: Puerto 2, FCB: F. Córdoba, FCV: F. Costa Verde, RCB: R. Córdoba, FLB: F. La Barra.

En la Figura 5.4 se presenta el comportamiento histórico de los promedio de OD registrados en las zonas de muestreo de la REDCAM. La concentración de OD en el agua superficial de las zonas de muestreo ha fluctuado en relación con la temporada climática y con vertimientos de aguas residuales. En el segundo semestre del año 2010 y primer semestre de 2011 se observó una disminución del OD en todas las zonas de muestreo, que en algunos casos estuvieron por debajo del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna del Decreto 1594 de 1984 (4 mg O₂/L; Figura 5.4), condición que coincidió con el evento La Niña (altas precipitaciones) que ocurrió a mediados del 2010 y principios de 2011 (IGAC *et al.*, 2011).

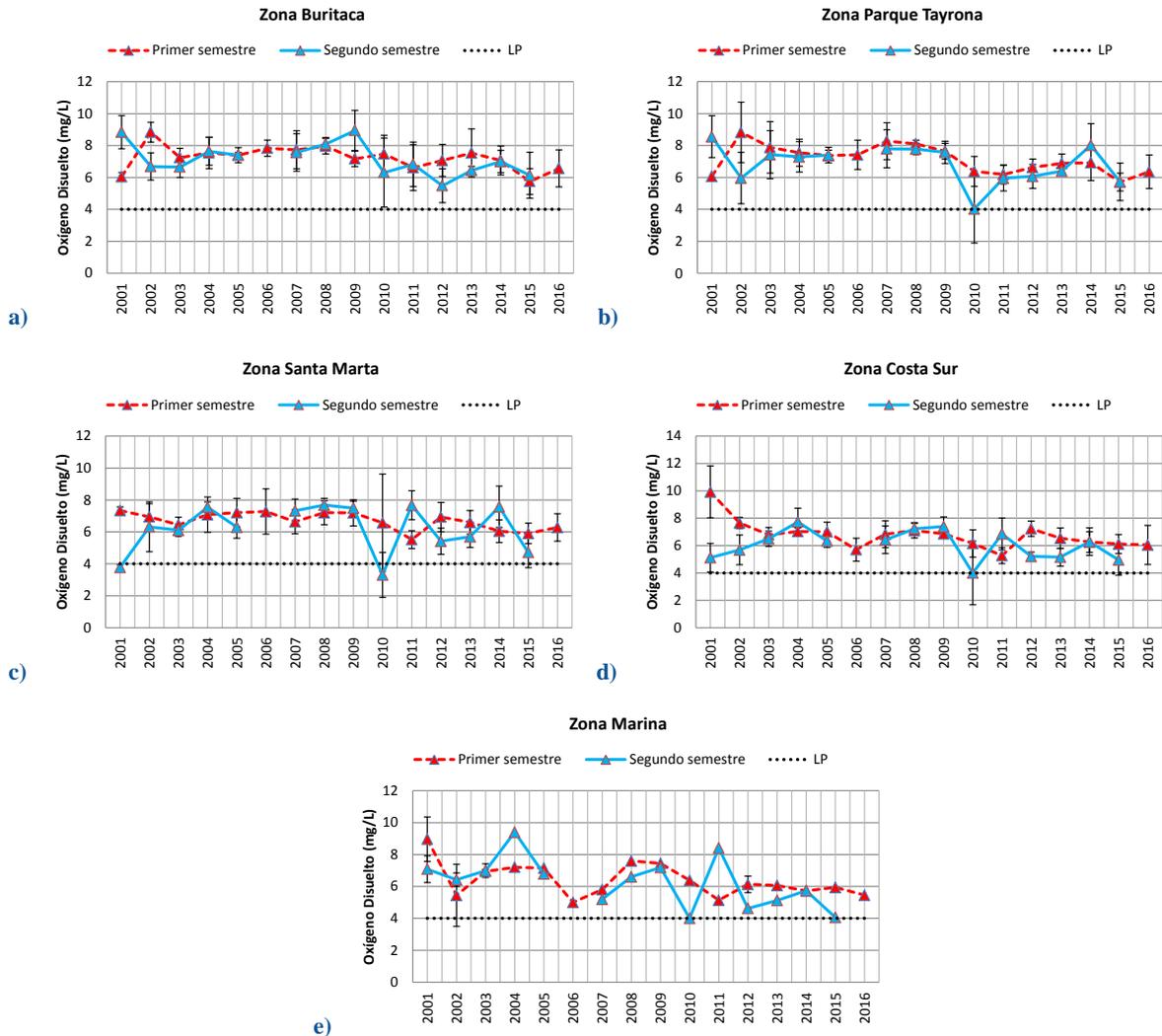


Figura 5.4. Promedio histórico del oxígeno disuelto en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Magdalena, en el primer semestre y segundo semestre de los años entre 2001 y 2016. La línea negra punteada en 4,0 mg de O₂/L indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

En la zona de Buritaca (Figura 5.4a), la mayoría de las mediciones del OD han registrado valores por encima de criterio de calidad para la preservación de flora y fauna (4 mg de O₂/L), a excepción de las mediciones realizadas en los años 2010 en frente del río Don Diego (3,5 mg de O₂/L), 2011 en frente del río Buritaca (3,7 mg de O₂/L) y 2012 en la playa Mendihuaca (2,9 mg de O₂/L) asociadas a una mayor descarga de los ríos Don Diego, Buritaca y Mendihuaca por las altas precipitaciones presentadas por la ocurrencia del evento La Niña de esos mismos años ([IDEAM, 2017b](#)). Estos ríos además se ven afectados por vertimientos de aguas residuales y las escorrentías agrícolas que aportan nutrientes y sólidos suspendidos que aumenta la turbidez de las aguas.

En la zona Parque Tayrona, históricamente se han registrado concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas para la preservación de la flora y fauna acuática aerobia en el primer semestre (época seca) de los años monitoreados (Figura 5.4) y en mayor medida en el segundo semestre, debido a que esta zona tiene baja influencia antropogénica. Solo en el segundo semestre del año 2010 se registró un descenso en la concentración de oxígeno disuelto en esta zona de muestreo, la cual se asocia a altas precipitaciones por la ocurrencia del La Niña. La concentración más baja fue de 2,13 mg de O₂/L y se registró en la estación playa bahía Concha a las 8:00 am. En el 2010 también se registraron por primera vez valores de oxígeno disuelto por debajo del criterio de calidad en las estaciones frente del río Piedras (3,4 mg de O₂/L), bahía Chengue (3,5 mg de O₂/L) y en playa Neguanje (3,4 mg de O₂/L).

En la zona de Santa Marta se han registrado las concentraciones de OD más bajas, alcanzando incluso valores que están por debajo de la normativa nacional para preservación de fauna y flora (primer semestre de los años 2004 y 2006; segundo semestre de los años 2001, 2002, 2010, 2012 y 2015) (Figura 5.4c). Cabe resaltar que en el segundo semestre del año generalmente se presenta la época lluviosa mayor que conlleva al aumento del caudal vertido por el emisario submarino y de las escorrentías pluviales de la ciudad, las cuales se mezclan con aguas residuales producto del rebosamiento de las redes de alcantarillado y que llegan a la bahía de Santa Marta por las calles 22 y 10, en las cuales se ubican estaciones REDCAM. En estas estaciones, se han registrado niveles de OD de 2,7-2,8 mg O₂/L en 2010, 3,46 mg O₂/L en 2012, 1,91-3,34 mg O₂/L en 2015. En el área de influencia de las plumas de los ríos Manzanares y Gaira, en el 2011 se registraron valores de 3 mg O₂/L y 2,8 mg O₂/L respectivamente; y en la playa Batallón que está influenciada por los aportes del río Manzanares, en el 2010 se registró una concentración de 2,8 mg O₂/L.

En las zonas Costa Sur y Marina, el OD se ha mantenido en niveles permisibles en el primer semestre de los años monitoreados (Figura 5.4c), y en el segundo semestre se presentan amplias fluctuación del oxígeno, debido a la influencia de los ríos Toribio y Córdoba en la Costa Sur que aumentan su caudal en las épocas de lluvia, y a la influencia de aguas provenientes de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) en la zona Marina cuando se abre la boca de la Barra y hay flujos hídricos entre la CGSM y el mar Caribe.

El pH en los muestreos de diciembre de 2016 y febrero de 2017 osciló entre valores cercanos a la neutralidad (mínimo 7,3) en los ríos Buritaca y Don Diego (zona Buritaca) por acción de ácidos húmicos y flúvicos producto de la descomposición de materia orgánica que por escorrentías llegan a estos cuerpo de agua, y básico (máximo 8,5) en las demás estaciones de muestreo marinas debido a la presencia de elementos alcalinos y alcalinotérreos, carbonatos y bicarbonatos, los cuales en general, estuvieron dentro de los rangos permisibles para la

preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce, marinas y estuarinas según la legislación nacional (Figura 5.5). En las estaciones de los ríos históricamente se han registrado valores de pH entre 6,4 y 8,7, valores considerados adecuados para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce (4-9; [MinSalud, 1984](#)).

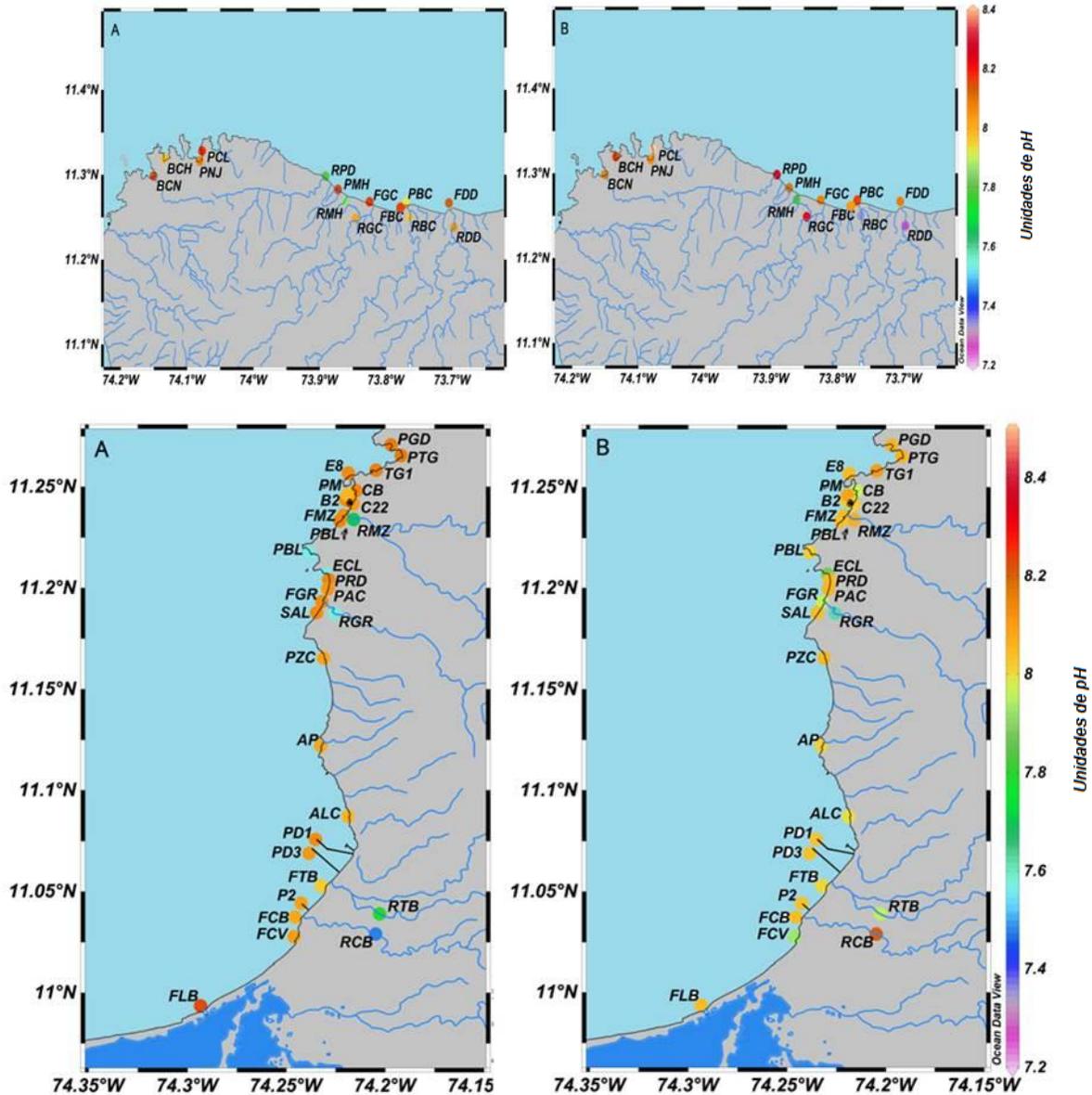


Figura 5.5. Valores de pH del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en los muestreos de diciembre de 2016 (A) y febrero de 2017 (B). Estaciones: PGD: P. Grande, PTG: P. Taganga, TG1: Taganga 1, E8: Emisario 8, CB: Cabotaje, PM: P. Municipal, B2: Boya 2, C22: Puente Calle 22, FMZ: F. Manzanares, RMZ: R. Manzanares, PBL: P. Blanca, PBL1: P. Batallón, ECL: Canal Escollera, PRD: P. Rodadero, PAC: Parque Acuático, FGR: F. Gaira, RGR: R. Gaira, SAL: P. Salguero, PZC :Pozos Colorados, AP: Aeropuerto, ALC: Alcatraces, PD1: Puerto Drummond 1, PD3: Puerto 3, FTB: F. Toribio, RTB: R. Toribio, P2: Puerto 2, FCB: F. Córdoba, FCV: F. Costa Verde, RCB: R. Córdoba, FLB: F. La Barra.

Las mayores concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) se registraron en diciembre del 2016 (Figura 5.6), mes en el cual hubo precipitaciones (IDEAM, 2017a), aumentando la escorrentía que arrastra sedimentos y partículas de material orgánico, entre otros sólidos que llegan a los cuerpos de agua naturales. Comparando los resultados de SST con la referencia de clasificación de calidad de las aguas propuesta por CONAGUA (2015), en la mayoría de las estaciones el agua superficial tuvo buena calidad, con valores menores de 75 mg/L (Figura 5.6), en las estaciones playa Buritaca, río Gaira, frente al río Toribio y en la Sociedad Portuaria Río Córdoba (Puerto 2-SPRC) el agua superficial estuvo el rango de calidad aceptable, condición que está asociada a los aportes de los ríos Buritaca, Gaira, Toribio y Córdoba. Por otra parte, en las estaciones de las bahías Concha, Chengue y Neguanje que hacen parte del Parque Natural Tayrona, las concentraciones de SST fueron favorables para la preservación de corales, ya que estuvieron por debajo de los 50 mg de SST/L (Fabricius, 2005).

Históricamente el agua superficial de las estaciones playa Buritaca, frente del río Toribio y Puerto 2-SPRC, han tenido buena calidad en términos de SST, de acuerdo con la referencia de CONAGUA (2015), ya que las concentraciones registradas durante todos los años de monitoreo (2001-2016), no han sobrepasado los 75 mg SST/L. En la estación río Gaira, con frecuencia la calidad del agua en términos de SST ha sido aceptable ($75 < SST \leq 150$ mg/L) o con indicio de contaminación ($SST > 150$ mg/L; CONAGUA, 2015), debido a que en este río se vierten aguas residuales de la población de Gaira, y en la ribera de la cuenca baja del río, se han construido viviendas y estaderos que afectan la calidad. La concentración más elevada de SST en esta estación fue de 645 mg/L, registrada en el segundo semestre del año 2004 (INVEMAR, 2017a).

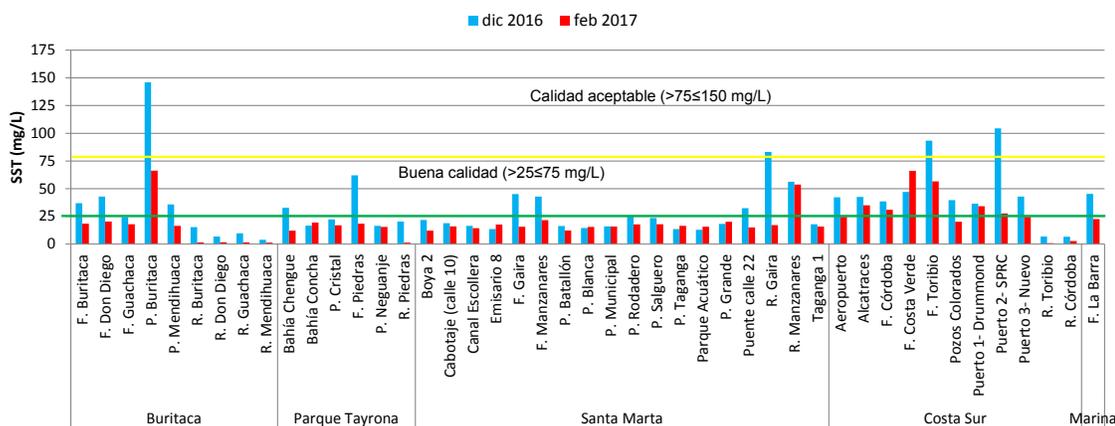


Figura 5.6. Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Magdalena, en los muestreos de diciembre de 2016 y febrero de 2017. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Los nutrientes inorgánicos disueltos son de importancia ambiental, debido a que al incrementar sus concentraciones, pueden generar problemas de eutroficación (Cárdenas y Sánchez, 2013) o florecimientos algales, como los que se han presentado en varias oportunidades en la bahía de Santa Marta (INVEMAR, 2015a; 2015b; INVEMAR, 2017b; 2017c). Las mayores concentraciones de amonio ionizado ($N-NH_4^+$) se registraron en las estaciones muelle Cabotaje ($602 \mu g N-NH_4^+/L$), emisario 8 ($276 \mu g N-NH_4^+/L$) y río Manzanares ($334 \mu g N-NH_4^+/L$; Figura

5.7a) de la zona Santa Marta, cuya fuente principal es el vertimiento de aguas residuales por el emisario submarino de la ciudad y el rebosamiento y derrame de las redes de alcantarillado. Históricamente en estas estaciones se han registrado altas concentraciones de amonio ([INVEVAR, 2017a](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2016b](#)). En la estación Muelle Cabotaje las mayores concentraciones se registraron en los años 2009 (508 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$), 2010 (2.448 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$), 2012 (1.298 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) y 2015 (2.292 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$ en octubre y 1.429 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$ en noviembre); en la estación Emisario 8, los mayores registros se obtuvieron en el 2013 (368 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$), 2014 (205 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) y 2015 (292 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$); y en el río Manzanares, en el 2010 (2.265 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$), 2013 (767 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$), 2014 (284 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) y 2015 (860 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$). El aumento de las concentraciones en los años mencionados coinciden con las épocas de lluvias mayor para el departamento y con la ocurrencia del evento La Niña, los cuales causaron inundaciones, escorrentías urbanas y rebosamiento de las aguas residuales en las redes de alcantarillado ([Garcés-Ordóñez et al., 2016b](#); [INVEVAR, 2017a](#); [IDEAM, 2017b](#)).

A pesar de que para esta forma ionizada del amonio aún no se tiene límite permisible para la preservación de flora y fauna en agua dulce, marinas y estuarinas en normas nacionales ([MinSalud, 1984](#)) y guías internacionales ([EPA, 1976](#); [EPA, 1980](#); [CCME, 2010](#)), las altas concentraciones indican contaminación por vertimientos de aguas residuales y puede provocar problemas relacionados con la eutroficación, como incrementos de las densidades de algas, aumento de materia orgánica por productividad primaria del plancton, disminución de las concentraciones adecuadas (4 mg/L) de oxígeno disueltos, entre otros, que conllevan al detrimento de la calidad del agua ([Cárdenas y Sánchez, 2013](#)).

En general las concentraciones de nitritos (N-NO_2^-) fueron inferiores a 20 $\mu\text{g de N-NO}_2^-/\text{L}$, con excepción del río Manzanares, en donde se registró el valor más elevado (241 $\mu\text{g de N-NO}_2^-/\text{L}$) en el muestreo de febrero de 2017 (Figura 5.7b). Este resultado se asocia con las aguas residuales recientemente vertidas, ya que en aguas naturales con buena oxigenación (7,9 mg O_2/L en río Manzanares), este nutriente se encuentra en bajas concentraciones debido a la acción de bacterias nitrificantes que lo oxidan a nitratos ([Cárdenas y Sánchez, 2013](#)). El río Manzanares recibe descargas directas de aguas residuales de los pobladores que se ubican en las zonas ribereñas y que no cuentan con sistemas de alcantarillado, por lo cual tienen olor fétido y coloración verdosa.

Históricamente, en la estación río Manzanares se han registrado las concentraciones de nitritos más altas, alcanzando valores de 482 $\mu\text{g de N-NO}_2^-/\text{L}$ en el 2005 ([Garcés-Ordóñez et al., 2016b](#)) valor atribuido a vertimientos de aguas residuales. Comparando las concentraciones de nitritos registradas en las estaciones de agua dulce en los ríos, con el criterio de calidad para el uso pecuario descrito en el decreto 1594 de 1984 (10.000 $\mu\text{g de N-NO}_2^-/\text{L}$; [MinSalud, 1984](#)), las aguas han sido aptas para este uso. Por otra parte, no tiene límites permisibles de nitritos para el uso del agua con fines de la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce, marina y estuarina ([MinSalud, 1984](#)).

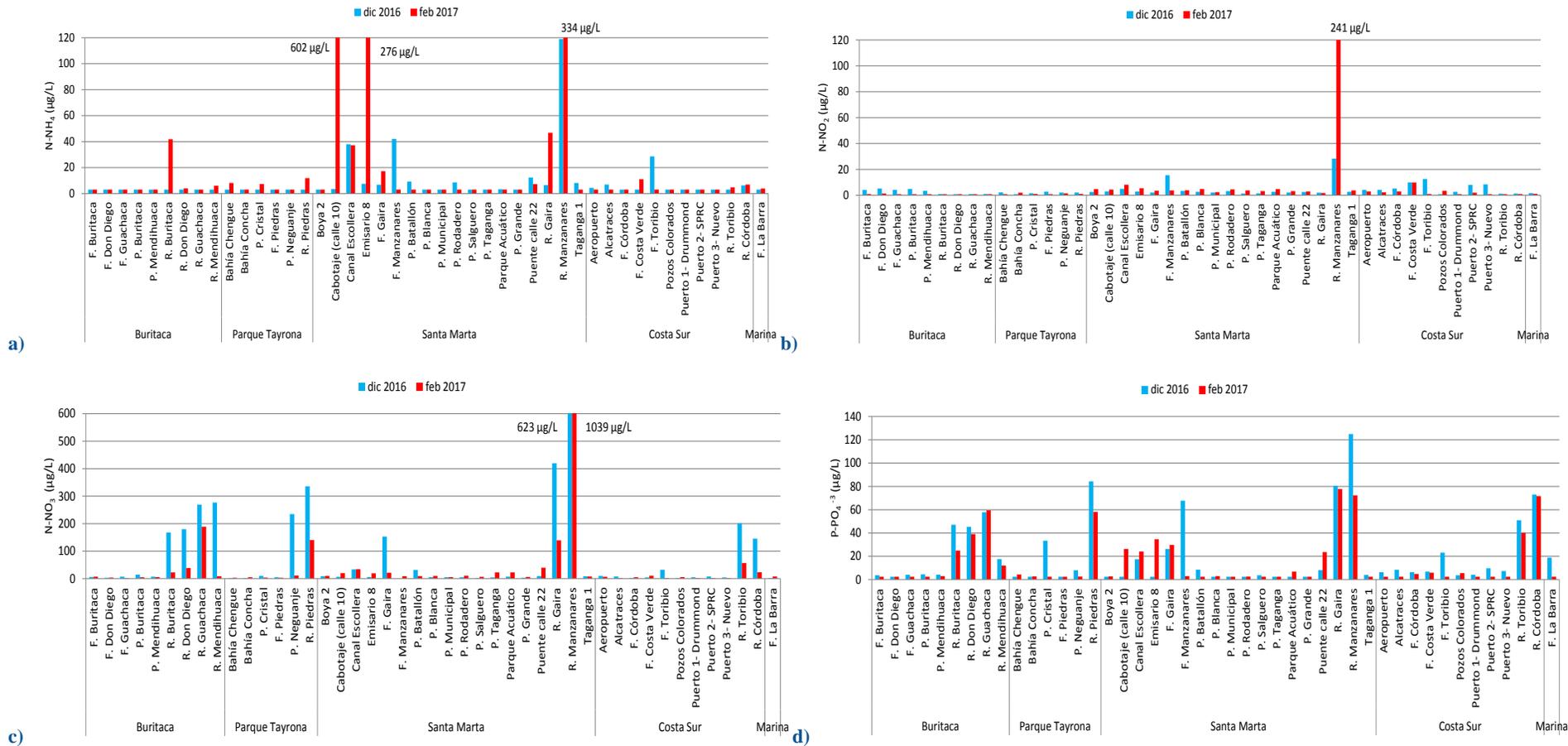


Figura 5.7. Concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitritos (N-NO₂⁻), c) nitratos (N-NO₃⁻) y d) ortofosfatos (P-PO₄⁻³), en el agua superficial de las estaciones de muestreo REDCAM del departamento de Magdalena, en los muestreos de diciembre de 2016 y febrero de 2017.

Las mayores concentraciones de nitratos ($N-NO_3^-$) se registraron en el muestreo de diciembre de 2016 (Figura 5.7c), en las estaciones de los ríos. En la zona de Buritaca y el río Piedras en la zona del Parque Tayrona, las altas concentraciones se asocian a escorrentías agrícolas, ya que estos cuerpos de agua recorren áreas de uso agrícola donde el uso de fertilizantes es común. En los ríos Manzanares y Gaira las elevadas concentraciones de nitratos se asocian con los vertimientos de aguas residuales. En los ríos Toribio y Córdoba hay aportes de aguas residuales y agrícolas, ya que en algunos tramos existen áreas cultivadas. Históricamente (2001 a 2016), las mayores concentraciones de nitratos se han registrado en la zona de Santa Marta, debido a los vertimientos de agua residuales que normalmente se presentan (INVEMAR, 2017d).

Las mayores concentraciones de ortofosfatos ($P-PO_4^{3-}$) se registraron en las estaciones de los ríos Manzanares, Gaira, Piedras y Córdoba en el muestreo de diciembre de 2016 (Figura 5.7d). Históricamente (2001 - 2016) las concentraciones de ortofosfatos han oscilado entre 2,4 y 1.089 μg de $P-PO_4^{3-}/L$. La concentración más elevada de 1.089 μg de $P-PO_4^{3-}/L$ se determinó en la estación río Piedras, en el año 2009, lo cual está asociado con las actividades agrícolas que se desarrollan en la cuenca (INVEMAR, 2017d).

La calidad microbiológica del agua en las estaciones de muestreo, se evaluó con las concentraciones de coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE). Las mayores concentraciones de CTT se registraron en las estaciones de los ríos y en el emisario (Tabla 5.2), en donde existe una alta contaminación por aguas residuales. El 33% de las estaciones medidas en los muestreos de diciembre de 2016 y febrero de 2017 sobrepasaron los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario (natación y buceo) y secundario (deportes náuticos y pesca) (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Concentraciones de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Magdalena, en los muestreos de diciembre de 2016 y febrero de 2017. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de MinSalud (1984).

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		dic-16	feb-17	Rango histórico	Percentil 90	dic-16	feb-17	Rango histórico	Percentil 90
Buritaca	P. Buritaca	<1	7	4 - 210.000	59.305	130	5	2 - 160.000	4.905
	P. Mendihuaca	240	2	7 - 210.000	15.624	79	2	2 - 13.000	1.628
	R. Buritaca	170.000	23.000	200 - 200.000	47.620	4.000	7.800	52 - 79.000	9.025
	R. Don Diego	24.000	9.400	790 - 240.000	41.873	2.300	2.300	18 - 240.000	12.025
	R. Guachaca	79.000	13.000	230 - 340.000	31.735	7.800	4.500	78 - 24.000	5.430
	R. Mendihuaca	130.000	17.000	200 - 210.000	31.700	11.000	11.000	10 - 54.000	8.000
Parque Tayrona	Bahía Chengue	9	2	1 - 2.400	1.928	2	2	1 - 371	553
	Bahía Concha	2	2	2 - 31.400	876	2	2	2 - 610	852
	P. Cristal	130	70	2 - 2.500	1.056	49	2	1 - 1.300	134
	F. Piedras	22	2	2 - 1.800	751	5	2	2 - 1.800	68
	P. Neguanje	280	2	2 - 2.420	1.233	24	2	1 - 687	190
	R. Piedras	130.000	14.000	660 - 160.000	64.250	11.000	11.000	200 - 160.000	13.798
Santa Marta	Boya 2	11	2	2 - 2.420	2.054	8	2	2 - 770	662
	Cabotaje (calle 10)	140	3.300	18 - 29.000.000	5.855.115	45	1.100	18 - 11.000.000	653.587
	Canal Escollera	240	350	8 - 35.000	6.256	240	33	2 - 35.000	5.440
	Emisario 8	540.000	3.500.000	18 - 542.000	261.116	350.000	3.500.000	18 - 540.000	276.530
	F. Gaira	16.000	16.000	45 - 130.000	87.902	16.000	16.000	60 - 33.000	20.544

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		dic-16	feb-17	Rango histórico	Percentil 90	dic-16	feb-17	Rango histórico	Percentil 90
	F. Manzanares	2	10	5 - 16.000	9.150	2	2	2 - 2.200	1.840
	P. Batallón	1.600	2	2 - 99.000	8.244	920	2	2 - 16.000	7.347
	P. Blanca	2	9	2 - 770	432	2	2	2 - 250	157
	P. Municipal	350	540	6 - 2.700	1.186	70	350	6 - 1.700	615
	P. Rodadero	240	12	4 - 24.000	2.533	240	8	2 - 24.000	672
	P. Salguero	460	21	2 - 9.000	1.994	11	14	2 - 1.600	536
	P. Taganga	13	9	2 - 240.000	6.978	13	6	2 - 1.700	868
	Parque Acuático	240	350	2 - 3.500	2.279	240	170	8 - 3.500	469
	P. Grande	49	540	2 - 9.220	3.977	17	140	2 - 1.500	652
	Puente calle 22	94	46	2 - 22.000	10.446	17	33	2 - 17.000	3.006
	R. Gaira	220.000	79.000	390 - 350.000	196.750	45.000	22.000	140 - 240.000	97.250
	R. Manzanares	330.000	240.000	4.200-3.500.000	1.338.000	130.000	79.000	240 - 1.600.000	347.600
	Taganga I	110	4	1-12.900	4.121	79	2	2 - 1.437	867
Costa Sur	Aeropuerto	13	7	2-3.500	2.632	13	7	2 - 800	362
	Alcatraces	110	2	2-5.200	3.110	26	2	2 - 1.120	704
	Pozos Colorados	2	2	2-24.000	1.667	2	2	2 - 740	196
	R. Toribio	11.000	11.000	700-240.000	71.148	1.700	1.100	17 - 240.000	46.125
	R. Córdoba	46.000	7.800	800-540.000	66.355	6.800	2.000	91 - 79.000	21.200
Mari na	F. La Barra	79	7	7-4.000	170	79	2	4 - 1.000	469
Límite permisible contacto primario		1.000				200			
Límite permisible contacto secundario		5.000				-			

En todas las estaciones de los ríos, las concentraciones de CTE estuvieron por encima del criterio de calidad para uso recreativo por contacto primario (200 NMP/100 mL) y para el uso agrícola en el riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto (1.000 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#); Tabla 5.2). En la gran mayoría de las playas, la calidad del agua en los muestreos de diciembre 2016 y febrero 2017 fue adecuada para el uso recreativo por contacto primario, a excepción de las playas Batallón (900 NMP/100 mL) en diciembre de 2016, la cual se encuentra influenciada por los aportes del río Manzanares; Municipal (350 NMP/100 mL) en febrero de 2017, en donde llegan aguas residuales que ingresan por la calle 10; Parque acuático (240 NMP/100 mL) y el Rodadero (240 NMP/100 mL) donde hay una alta actividad turística.

Históricamente las mayores concentraciones de CTE se han presentado en la zona de Santa Marta (Tabla 5.2), debido a que en esta zona hay fuentes importantes de contaminación, como por ejemplo el agua residual vertida por el emisario submarino, las escorrentías urbanas de aguas residuales que llegan a las playas turísticas urbanas, además del río Manzanares que tiene una alta degradación ambiental en su cuenca baja y desemboca en la bahía de Santa Marta ([Garcés-Ordóñez et al., 2016b](#); [Vivas-Agua et al., 2014a](#)). En las estaciones Muelle Cabotaje (calle 10), Puente de la calle 22 y Emisario 8, entre el 25 y el 86% de las mediciones han estado por encima del límite permisible para el uso recreativo de acuerdo con la legislación nacional para contacto primario (Tabla 5.3), lo cual puede representar un problema de salud pública, debido a que este sector es de uso turístico, y pescadores de la zona realizan faenas de pesca.

Tabla 5.3. Registro histórico de las concentraciones de coliformes termotolerantes expresados en NMP/100 mL, de las estaciones emisario 8, cabotaje (calle 10) y puente de la calle 22. El porcentaje de mediciones por encima del límite permisible de 200 NMP/100 mL para contacto primario (% >LP CP) del Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984). Sin datos (-)

AÑO	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)					
	Emisario 8		Cabotaje (calle 10)		Puente Calle 22	
	1 semestre	2 semestre	1 semestre	2 semestre	1 semestre	2 semestre
2003	130.000	-		900	-	140
2004	80.000	2.000	1.300	330	300	110
2005	80.000	4.000	20	1.630	20	110
2006	110.000	-	220	-	80	-
2007	460.000	180.000	45	390.000	2	7.900
2008	240.000	18	2.400	2.800	130	230
2009	130.000	20	1.400	33	130	91
2010	540.000	-	140	1.400	17.000	140
2011	350.000	200	9.200	130	110	380
2012	77.000	52.000	11.000.000	650.000	540	680
2013	18	16.000	18	-	18	-
2014	270	13.340	700	1.340	-	529
2015	130	330	230	1.700.000	5	1.600
2016	7.800	-	200	-	10	-
% medición >LP CP	86%	70%	62%	82%	25%	55%

Las concentraciones de enterococos fecales (EFE) en las estaciones de playa de importancia turística se presentan en la Tabla 5.4. En el muestreo de diciembre de 2016, la mayoría de las playas presentaron bajas concentraciones de EFE, a excepción de la playa de El Rodadero en donde se registró la mayor concentración (132 UFC/100 mL), valor que superó el rango histórico y que representa un riesgo entre 1 y 5% de contraer enfermedades gastrointestinales agudas (EGI), y entre 0,3 y 1,9% de contraer enfermedades febriles agudas (ERFA), según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003). En el muestreo de febrero de 2017, en algunas estaciones se registraron concentraciones menores de EFE, mejorando las condiciones de calidad. En la estación muelle Cabotaje se registró una concentración de 230 UFC/100 mL, la cual es baja considerando el amplio rango histórico (2001-2016) registrado (1 - 42.300 UFC/100 mL) y que representa un riesgo entre el 5 y 10% de contraer EGI y entre 1,9 y 3,9% de contraer ERFA.

Tabla 5.4. Enterococos fecales (EFE) medidos en las estaciones de playa de REDCAM Magdalena en los muestreos de diciembre de 2016 y febrero de 2017, y el registro histórico 2001-2016. *valor de referencia de la OMS (2003) para el riesgo de contraer enfermedades Gastrointestinales (EGI) y Respiratoria Febril Aguda (ERFA) respectivamente. No medido (-).

Zona	Estación	EFE (UFC/100 mL)					
		dic-16	Rango histórico segundo semestre (2001-2016)	Percentil 90	feb-17	Rango histórico primer Semestre (2001-2016)	Percentil 90
Buritaca	P. Buritaca	105	8 - 613	491,2	12	1-73	41,8
	P. Mendihuaca	22	4 - 163	133	<1	1 - 124	63,2
Parque Tayrona	Bahía Chengue	42	<1 - 79	39,8	<1	<1 - 3	2
	Bahía Concha	<1	<1 - 35	24,8	<1	<1 - 10	9,4
	P. Cristal	5	<1 - 38	34	3	1-46	25
	P. Neguanje	69	<1 - 48	27	1	<1 - 178	94,5
Santa Marta	Cabotaje (calle 10)	-	1 - 2.000	2000	230	1 - 42.300	25620

Zona	Estación	EFE (UFC/100 mL)					
		dic-16	Rango histórico segundo semestre (2001-2016)	Percentil 90	feb-17	Rango histórico primer Semestre (2001-2016)	Percentil 90
	P. Batallón	40	40	349,6	4	1 - 228	115,2
	P. Blanca	<1	<1 - 33	122,1	1	<1 - 5	2,6
	P. Municipal	52	4 - 141	966,8	15	<1 - 70	35,8
	P. Rodadero	132	10-58	62,4	63	<1 - 140	28
	P. Salguero	32	<1 - 2.000	540,8	44	<1 - 112	91,6
	P. Taganga	7	8 - 2.000	644,8	4	1-38	13
	Parque Acuático	77	2 - 390	389,3	17	<1 - 59	27
	P. Grande	14	1-80	1166,9	4	1-13	10,6
	Puente calle 22	-	17 - 1.100	853,6	9	1 - 375	228
Costa Sur	Aeropuerto	6	1-44	28	15	<1 - 2	2
	Alcatraces	6	2-32	19,2	<1	1-5	3,4
	Pozos Colorados	4	<1 - 33	23,9	<1	<1 - 8	6,4
Valores de referencia OMS (2003)		≤40 UFC/100 mL, <1% de contraer EGI y <0,3% de contraer ERFA.					
		41–200 UFC/100 mL, 1–5% de EGI y 0,3–1,9% de ERFA.					
		201–500 UFC/100 mL, 5–10% de EGI y 1,9–3,9% de ERFA.					
		>500 UFC/100 mL, >10% de EGI y >3,9% de ERFA					

En cuanto a los contaminantes orgánicos en el agua superficial, las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) no superaron la referencia para aguas costeras con contaminación baja ($>5 <10 \mu\text{g/L}$) y de aguas marinas contaminadas ($>10 \mu\text{g/L}$) (Figura 5.8) (UNESCO, 1984; Zanardi *et al.*, 1999; Acuña-González *et al.*, 2004). La presencia de HPDD se asocia a la actividad turística, tráfico de lancha, actividades portuarias y vertimientos de aguas residuales (Vivas-Aguas *et al.*, 2014a).

En las zonas de muestreo del departamento del Magdalena, las concentraciones promedio de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) entre los años 2001 y 2016, han estado en el nivel de contaminación no significativa, a excepción de las zonas de Santa Marta y Marina en los años 2001 y 2013 respectivamente, en donde se registraron valores de contaminación baja y alta (Figura 5.9). En las estaciones del río Manzanares y su desembocadura, el año 2001, se registraron concentraciones de 33,4 y 12,6 μg de HPDD/L respectivamente, los cuales indican contaminación y están asociados vertimientos de residuos oleosos de talleres mecánicos que funcionan en la ribera del río Manzanares (Vivas-Aguas *et al.*, 2014a). En la estación frente a la boca de La Barra, zona Marina, la concentración más alta fue de 5,8 $\mu\text{g/L}$ en el 2013, la cual pudo estar asociado al tráfico de embarcaciones hacia la Ciénaga Grande de Santa Marta y el tráfico de vehículos por la troncal del Caribe.

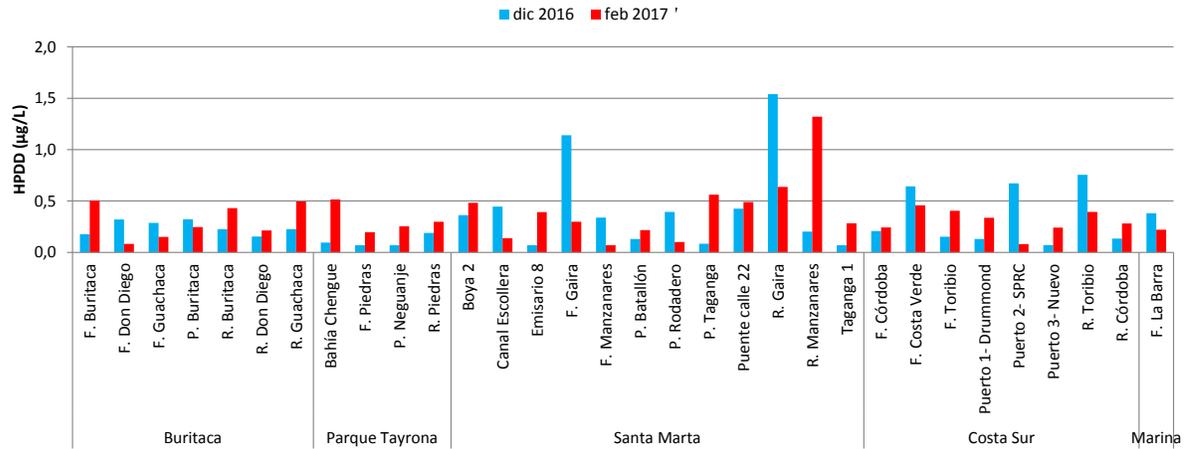


Figura 5.8. Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Magdalena, en los muestreos de diciembre de 2016 y febrero de 2017.

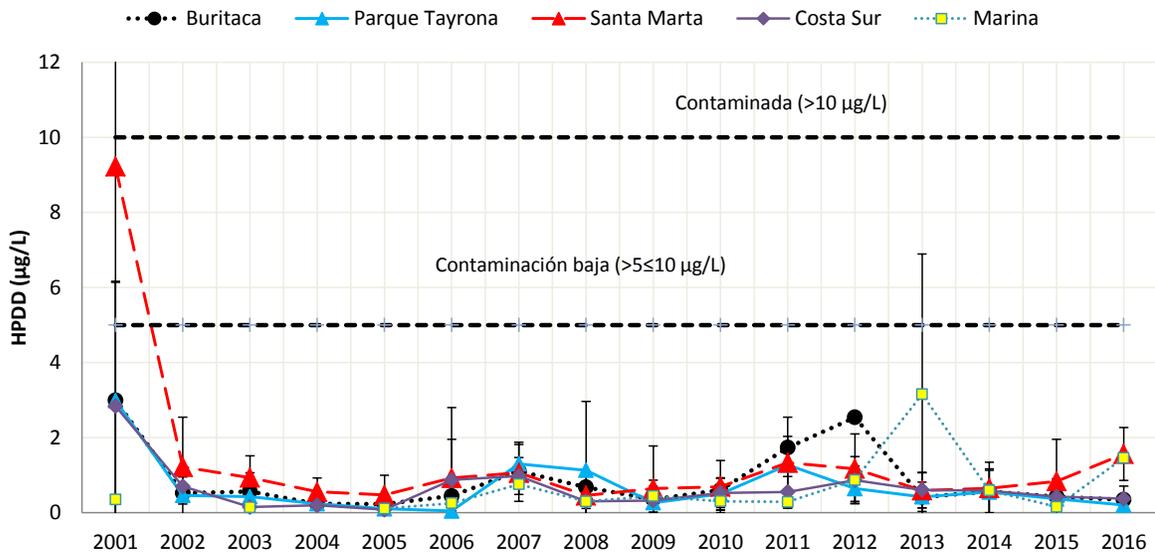


Figura 5.9. Promedio de las concentraciones de Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de criseno (HPDD) registradas entre los años 2001 y 2016 en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Magdalena. Valores de referencia de $>10 \mu\text{g/L}$ para aguas contaminadas, $>5 <=10 \mu\text{g/L}$ para aguas costeras con contaminación baja y de $1 \mu\text{g/L}$ para aguas con contaminación no significativa (UNESCO, 1984; Zanardi *et al.*, 1999; Acuña-González *et al.*, 2004).

La mayoría de los plaguicidas organoclorados medidos estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR. En el muestreo de diciembre de 2016, se cuantificó el organoclorado Endrín en la estación bahía Chengue, en una concentración de $66,5 \text{ ng/L}$, valor que superó la referencia de $2,3 \text{ ng/L}$ para efectos crónicos en aguas marinas sugerido por EPA (2016). Este plaguicida era utilizado para controlar insectos,

roedores y pájaros ([ATSDR, 1997](#)) y su uso y comercialización fue prohibido mediante Resolución 447 de 1974 de Ministerio de Agricultura de Colombia. Si bien fue una medición puntual, es necesario identificar la fuente de este plaguicida en bahía Chengue, debido a que esta sustancia pone en riesgo a la biota acuática, afectando los objetivos de conservación del parque. Históricamente, en el agua superficial de la bahía Chengue y del río Piedras, se han registrado Aldrines (Endrin+diendrin+aldrin), DDT, Hexaclorociclohexano Total - HEP y Heptacloro total – HCH (heptacloro + heptacloroepóxido) ([INVEMAR, 2017a](#)). En el río Buritaca se registró una concentración de 45,4 ng de aldrines/L en 2008 y en el río Manzanares 96,3 ng de HCH/L en el 2014 ([INVEMAR, 2017a](#)).

Los plaguicidas organofosforados medidos estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR. De estos plaguicidas solo el clopirifos se detectó en el río Piedras en 2012 (16 ng/L); el metil paratión en el río Guachaca en el 2015 (26,9 ng/L) y cis-permetrina en el río Piedras en el 2015 (28,9 ng/L).

Durante los muestreos de diciembre de 2016 y febrero de 2017, en todas las estaciones de muestreo, los metales pesados (Cd, Pb, Cu, Zn y Ni) disueltos estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR, los cuales además están por debajo de los valores de referencia para efectos crónicos en aguas dulces y marinas ([Buchman, 2008](#); [CONAMA, 2005](#)), por lo tanto no representaron un riesgo para la biota acuática. El Fe fue el único metal que se cuantificó en algunas estaciones y osciló entre el límite de cuantificación de la técnica analítica (<4,7 µg Fe/L) y 23,3 µg Fe/L, concentraciones que estuvieron por debajo del valor de referencia para efectos crónicos 50 µg/L para aguas marinas y 350 µg/L para aguas dulces.

Históricamente, entre los años 2001 y 2015 se han registrado en algunas estaciones los metales Cd en concentraciones máximas de 6,9 µg de Cd/L, valores por debajo de la referencia para efectos crónicos (8,8 µg Cd/L; [Buchman, 2008](#)); Cu la estación frente del río Buritaca en 2012 (5 µg Cu/L), valor por encima de la referencia de efectos crónicos (3,1 µg Cu/L; [Buchman, 2008](#)); y Ni en las estaciones Boya 2 (8,7 µg Ni/L) en 2012, muelle Cabotaje (10,1 µg Ni/L) en 2013, canal de la escollera (11,0 y 9,8 µg Ni/L) en 2012 y 2013, frente del río Manzanares (10,9 y 11,1 µg Cu/L) en 2012 y 2013, puente de la calle 22 (9,65 y 8,87 µg Cu/L) y frente del río Córdoba (8,25 µg/L) en 2012, valores por encima de la referencia de efectos crónicos (3,1 µg Cu/L; [Buchman, 2008](#)).

Las concentraciones más elevadas de plomo que han estado por encima de la referencia para efectos crónicos (8,1 µg Pb/L; [Buchman, 2008](#)) se registraron en el 2001 en las estaciones de los frentes de los ríos Piedras (46,6 µg Pb/L), río Gaira (102 µg Pb/L) y Manzanares (103 µg Pb/L), y en frente de Costa Verde (48,25 µg Pb/L) y en 2002 en los frentes de los ríos Buritaca (48,35 µg Pb/L), Don Diego (47,05 µg Pb/L), Guachaca (50,95 µg Pb/L) y Toribio (45,65 µg/L) y en la bahía Chengue (53,95 µg Pb/L) ([INVEMAR, 2017a](#)). El zinc se registró en concentraciones de 83,71 µg Zn/L en frente del río Manzanares en el 2013 y de 101 µg Zn/L en el puente de la calle 22 en el 2015 ([INVEMAR, 2017a](#)), valores que superaron la referencia para efectos crónicos en aguas marinas (81 µg Zn/L; [Buchman, 2008](#)).

5.2.1 Calidad del agua de acuerdo con el ICAM_{PPF}

La aplicación del ICAM_{PPF} mostró que la calidad del agua superficial del 75% de las estaciones evaluadas en diciembre de 2016, fue adecuada, el 17% aceptable, el 6% óptima y el 3% pésima (Figura 5.10). La gran proporción de estaciones en condiciones adecuadas responden a la baja concentración de nutrientes inorgánicos disueltos y SST, y altas concentraciones de oxígeno disuelto, condiciones favorables para la preservación de flora y fauna. La condición pésima se presentó en la estación Emisario 8, debido a la alta concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal y elevadas concentraciones de nutrientes inorgánicos. Este resultado debe ser tenido en cuenta para que las autoridades ambientales y el Distrito, implementen un plan de contingencia y acciones de inversión para el tratamiento de las aguas residuales que se están vertiendo a la zona marino-costera de Santa Marta causando contaminación.

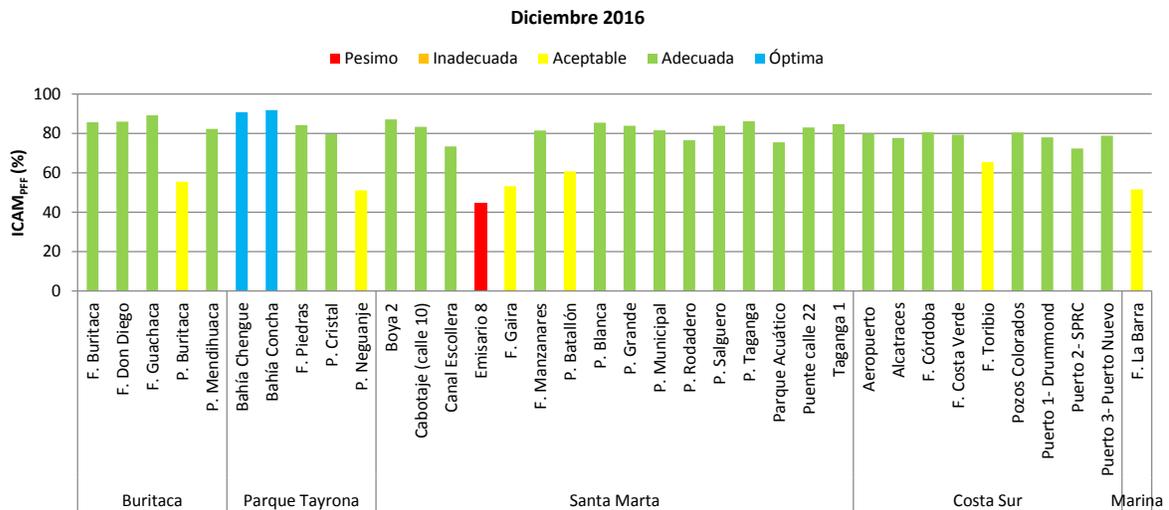


Figura 5.10. Calidad de las aguas en las estaciones marinas y estuarinas de la REDCAM en el departamento de Magdalena en el muestreo de diciembre de 2016, evaluadas con el del ICAM_{PPF}.

En febrero de 2017, la calidad de las aguas se mantuvo el 71% de las estaciones tuvieron una calidad adecuada, el 18% óptima, 3% aceptable y 6% inadecuada (Figura 5.11), esta última se atribuye a la contaminación microbiológica. Para los muestreos de diciembre de 2016 y febrero de 2017, la zona Santa Marta fue la que tuvo mayor número de estaciones con calidad de aguas inadecuada y pésima, en comparación con las demás zonas, lo cual está relacionado con el mayor número de actividades productivas y fuentes de contaminación que hay en esta zona (Vivas-Aguas *et al.*, 2014a).

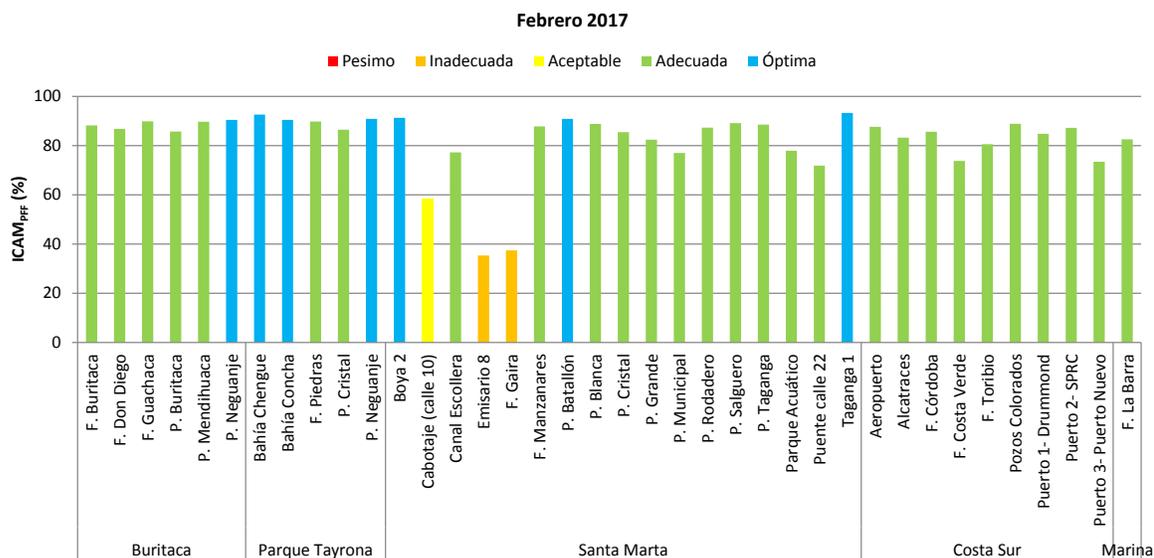


Figura 5.11. Calidad de las aguas en las estaciones marinas y estuarinas de la REDCAM en el departamento de Magdalena en el muestreo de febrero de 2017, evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

Mediante el cálculo del ICAM_{PFF} entre los años 2013 y 2016, se ha podido establecer que la mayoría de las estaciones han tenido aguas con calidad adecuada y aceptable para la preservación de flora y fauna. En la zona de Santa Marta, la estación del emisario submarino se ha mantenido en pésima calidad debido al vertimiento permanente de aguas residuales sin tratamiento previo. En la zona del Parque Tayrona, el agua se ha mantenido en calidad adecuada y óptima para la preservación de flora y fauna; aunque en el 2016 se presentaron condiciones aceptables, por el aumento en los sólidos suspendidos (Tabla 5.5). En la zona Costa Sur la calidad del agua ha sido muy fluctuante, se han presentado años con estaciones que tuvieron aguas con pésima calidad y otros con calidad adecuada; cabe destacar que en el 2016 mejoró la calidad del agua, con el 94% de las estaciones con calidad adecuada. En la zona Marina las condiciones adecuadas y aceptables han sido las más frecuentes.

Tabla 5.5. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las zonas del departamento del Magdalena en el periodo desde el 2013 al 2016.

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2013	Buritaca				100%	
	Parque Tayrona				50%	50%
	Santa Marta	3%	3%	6%	69%	19%
	Costa Sur		7%	14%	79%	
	Marina				100%	
2014	Buritaca				100%	
	Parque Tayrona				100%	
	Santa Marta		6%	13%	74%	6%
	Costa Sur		8%	8%	83%	
	Marina		7%	7%	86%	
2015	Buritaca				100%	
	Parque Tayrona				78%	22%
	Santa Marta	3%	13%	9%	75%	

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
	Costa Sur	8%	17%	25%	50%	
	Marina				100%	
2016	Buritaca			11%	78%	11%
	Parque Tayrona			10%	70%	20%
	Santa Marta	3%	3%	13%	81%	
	Costa Sur			6%	94%	
	Marina			50%	50%	

5.3 CALIDAD DE SEDIMENTOS

Los contenidos de materia orgánica (MO) en los sedimentos de las estaciones de muestreo, se presentan en la Tabla 5.6. En diciembre de 2016 y febrero de 2017 los mayores contenidos de MO se registraron en las estaciones Puerto 2-SPRC y Puerto 3-Nuevo. Cerca de estas estaciones, desembocan los ríos Córdoba y Toribio, además existen parches de manglar que aportan materia orgánica en forma de detritus. En las estaciones frente del río Manzanares y frente del río Gaira, los contenidos registrados estuvieron por debajo del promedio de los datos registrados entre agosto de 2013 y abril de 2016 ($9,8 \pm 13$ mg/g peso seco y $7,0 \pm 11$ mg/g peso seco respectivamente). En estaciones que están influenciados por los aportes de los ríos, la MO en sedimentos puede variar por los procesos de depositación y resuspensión con posterior transporte a otras partes de la zona costera o al océano en pequeña proporción, por acción del oleaje, las corrientes marinas, y por la descomposición de la materia orgánica ([Marcovecchio y Freije, 2013](#)).

Tabla 5.6. Contenido de materia orgánica expresado en mg/g en peso seco, en los sedimentos marinos superficiales de las estaciones REDCAM del Magdalena, determinados en los muestreos realizados en diciembre de 2016 y febrero de 2017. No medidos (NM).

Zona	Estación	Materia orgánica (mg/g p.s.)							
		ago-13	abr-14	ago-14	abr-15	sep-15	abr-16	dic-16	feb-17
Buritaca	F. Buritaca	NM	NM	NM	NM	1,2	5,0	19,2	5,1
Santa Marta	F. Gaira	NM	NM	NM	25,7	6,2	0,3	1,0	1,7
	F. Manzanares	13,8	<0,4	0,9	33,0	9,7	0,9	1,7	2,0
Costa Sur	Puerto 1- Drummond	NM	NM	NM	NM	NM	NM	5,7	3,9
	Puerto 2- SPRC	NM	NM	NM	NM	NM	NM	38,5	28,2
	Puerto 3- Nuevo	NM	NM	NM	NM	NM	NM	24,8	4,9
Marina	F. La Barra	NM	NM	NM	NM	NM	NM	0,8	2,2

En los sedimentos colectados en diciembre de 2016, se midieron hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno (HP), encontrándose valores entre 0,1 y 4,1 $\mu\text{g/g}$ en peso seco. Las concentraciones más altas se registraron en las estaciones frente de los ríos Gaira (4,1 $\mu\text{g/g}$ en peso seco) y Manzanares (2,6 $\mu\text{g/g}$ en peso seco) y las más bajas en los frentes de Buritaca y La Barra (0,1 $\mu\text{g/g}$ en peso seco). De acuerdo con los valores de referencia propuestos por [Massoud et al. \(1998\)](#), en ninguna de las estaciones muestreadas, hay contaminación por HP en los sedimentos, ya que las concentraciones están por debajo de 15 $\mu\text{g/g}$ en peso seco, valor

considerado como natural. Los registros históricos muestran que los sedimentos de los frentes de los ríos Manzanares (0,18 µg/g) y Gaira (3,43 µg/g) no están contaminados por HP.

En febrero de 2017, se realizó la primera medición de 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos en los sedimentos superficiales. Todos los 16 HAP se encontraron por debajo del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR, valores que están por debajo de los valores de referencia de efecto umbral y probable descritos en [Buchman \(2008\)](#), lo cual indicó que no existe contaminación por HAP.

De igual manera, los 41 plaguicidas medidos en los sedimentos de las estaciones de muestreo estuvieron por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica utilizada en el LABCAM del INVEMAR, y por debajo de las referencias de efectos probables descritos en [Buchman \(2008\)](#). En el 2013, en la estación frente del río Manzanares, se registró una concentración de 4,3 ng/L de DDT, un plaguicida organoclorado de uso restringido en Colombia, valor que superó la referencia para efecto umbral en aguas marinas (1,19 ng/g; [Buchman, 2008](#)), en el cual puede presentarse efectos adversos en los organismos acuáticos. En el año 2015, en las estaciones frente del río Manzanares y frente del río Gaira, se detectó el organoclorado Cis-permetrina en una concentración de 39,4 y 4,0 ng/g, respectivamente. Este compuesto no tiene valor de referencias para efectos adversos en la biota acuática.

Los metales pesados totales (Cd, Pb, Zn, Fe y Hg) medidos en diciembre de 2016 y febrero de 2017 no superaron los valores de referencia para efectos probables (PEL) descritos en [Buchman \(2008\)](#) (Tabla 5.7). Sin embargo, algunos metales como el Cr, Cu y Ni, en estaciones frente del río Gaira, puerto 1-Drummond, puerto 2-SPRC, Puerto 3- Nuevo y frente de La Barra, superaron la referencia de efecto umbral (TEL) en el que los efectos adversos ocurren ocasionalmente ([Long et al., 1995](#)). En estas estaciones se desarrollan actividades portuarias y aportes de fuentes continentales. Es importante que se siga monitoreando estos metales para conocer su comportamiento que se evalué su biodisponibilidad y otros factores que lo controlan.

Tabla 5.7. Concentraciones de metales pesados totales (en peso seco) medidos en sedimentos superficiales del departamento del Magdalena en diciembre de 2016 y febrero de 2017. Valores con el símbolo (<) indica el límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR. Las referencias de efectos umbral (ERL) y probables (PEL) para sedimentos marinos fueron tomados de la NOAA (Buchman, 2008). Sin valor de referencia (-).

Zona	Estación	Diciembre de 2016								Febrero de 2017							
		Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni	Fe	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni	Fe	Hg
		µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	mg/g	ng/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	mg/g	ng/g
Buritaca	F. Buritaca	<0,5	<4,0	40,9	7,9	42,0	3,0	27,9	5,0	<0,5	14,5	37,4	7,0	43,7	2,1	22,3	5,0
Santa Marta	F. Gaira	<0,5	14,8	61,0	8,1	86,2	<2,0	49,4	<3,0	<0,5	14,9	57,7	<1,90	89,6	2,5	37,1	<3,0
	F. Manzanares	<0,5	12,2	43,1	5,6	66,1	<2,0	32,6	3,2	<0,5	18,1	49,6	<1,90	83,9	<2,0	33,4	<3,0
Costa Sur	Puerto 1- Drummond	<0,5	10,0	53,7	8,4	80,6	3,2	34,7	9,9	<0,5	15,3	53,1	5,1	99,4	11,2	34,3	9,6
	Puerto 2- SPRC	<0,5	13,4	45,9	26,5	84,0	16,8	37,0	27,0	<0,5	17,8	45,4	21,2	108,7	19,8	39,0	24,9
	Puerto 3- Nuevo	<0,5	12,3	49,4	21,6	95,2	16,5	38,0	24,8	<0,5	13,4	60,4	6,2	96,6	10,5	35,7	9,7
Marina	F. La Barra	<0,5	10,8	62,8	4,6	57,3	3,6	41,5	<3,0	<0,5	13,8	13,5	<1,90	32,8	<2,0	10,6	<3,0
Valores Referencia TEL		0,68	30,2	52,3	18,7	124	16	-	130	0,68	30,2	52,3	18,7	124	16	-	130
Valores Referencia PEL		4,21	112	160	108	271	43	-	700	4,21	112	160	108	271	43	-	700

5.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ En la mayoría de las estaciones del departamento del Magdalena, la calidad del agua superficial fue adecuada y en algunos casos óptima para la preservación de flora y fauna acuática, debido a que contienen niveles adecuados de oxígeno disuelto y pH, bajo contenido de sólidos suspendidos y nutrientes inorgánicos disueltos y concentraciones de hidrocarburos del petróleo equivalentes de críeno disueltos y dispersos, dentro de los límites permisibles de la legislación nacional y los valores de referencia internacionales. En la estación emisario 8, la calidad fue pésima, debido a los vertimientos de aguas residuales.
- ❖ Las estaciones de la bahía de Santa Marta, emisario 8, Cabotaje y puente calle 22 y las estaciones de los ríos, presentan contaminación microbiológica alta, debido a los vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento. Este resultado debe ser usado por las autoridades ambientales y la administración municipal, para que desde sus competencias trabajen en la implementación de un plan de contingencia, para reducir la contaminación microbiológica de las aguas marinas y costeras, como bien de uso público de importancia ambiental y turística.
- ❖ En la mayoría de las playas turísticas, con excepción de playa Batallón, playa Municipal y El Rodadero, la calidad microbiológica fue adecuada para el contacto primario, ya que los coliformes termotolerantes están por debajo del máximo permitido en la legislación nacional y los enterococos fecales representan bajo riesgo para que los bañistas contraigan enfermedades gastrointestinales y respiratorias febriles agudas, según la referencia de la Organización Mundial de la Salud.
- ❖ La presencia del plaguicida organoclorado Endrín en la bahía Chengue, en concentración que sobrepasa la referencia para efectos crónicos en agua marina de la EPA, representa un riesgo alto para la biota acuática del Parque Tayrona. Es importante identificar la fuente de este compuesto, para que las autoridades ambientales en función de sus competencias diseñen estrategias que permitan preservar la calidad ambiental del área protegida.
- ❖ El agua superficial de la zona costera del departamento de Magdalena, no presentan contaminación por los metales Cd, Pb, Cr, Ni, Zn y Fe, ya que las concentraciones registradas están por debajo de los valores referenciados para efectos crónicos y agudos descritos en guías internacionales.
- ❖ Los sedimentos marinos no están contaminados por hidrocarburos, ni por plaguicidas. En algunas estaciones ubicadas en el área de influencia de los puertos Drummond, Sociedad Portuaria Río Córdoba y Puerto Nuevo, los metales Cr, Cu y Ni superaron el valor de referencia de efecto umbral (TEL) en el que los efectos adversos ocurren ocasionalmente. Se recomienda continuar con el monitoreo y evaluar la biodisponibilidad de estos metales y otros factores que controlan la biodisponibilidad.

ATLÁNTICO

Mónica Rocío Bayona-Arenas



Playa Puerto Colombia. Foto: Alex Contreras

EQUIPO TÉCNICO CRA

Efrain Leal Puccini – Profesional Especializado G18

6. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO

En la zona costera del Atlántico desemboca el afluente con mayor intervención antrópica del país, el río Magdalena, que, sumado a actividades como el transporte marítimo, la descarga de aguas residuales provenientes de las poblaciones aledañas al río Magdalena y ubicadas en la franja costera, industria, agricultura y el turismo, entre otras, aportan residuos contaminantes a las aguas marinas y costeras. Estos contaminantes alteran las características fisicoquímicas de aguas y sedimentos, deteriorando su calidad y pueden producir efectos negativos sobre la flora y fauna ([Vivas-Aguas et al., 2015b](#)).

Con el propósito de obtener información que facilite la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico– C.R.A., para el manejo integral del medio ambiente marino, la REDCAM viene realizando desde el año 2001 el monitoreo de calidad de las aguas marinas y costeras del departamento. El presente capítulo contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas y sedimentos marinos y costeros en base a los muestreos realizados en el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017.

6.1 ZONAS DE MONITOREO

El departamento de Atlántico cuenta con una red de 17 estaciones de monitoreo, distribuidas geográficamente en tres zonas: Río Magdalena, Puerto Colombia y Tubará-Acosta (Figura 6.1).

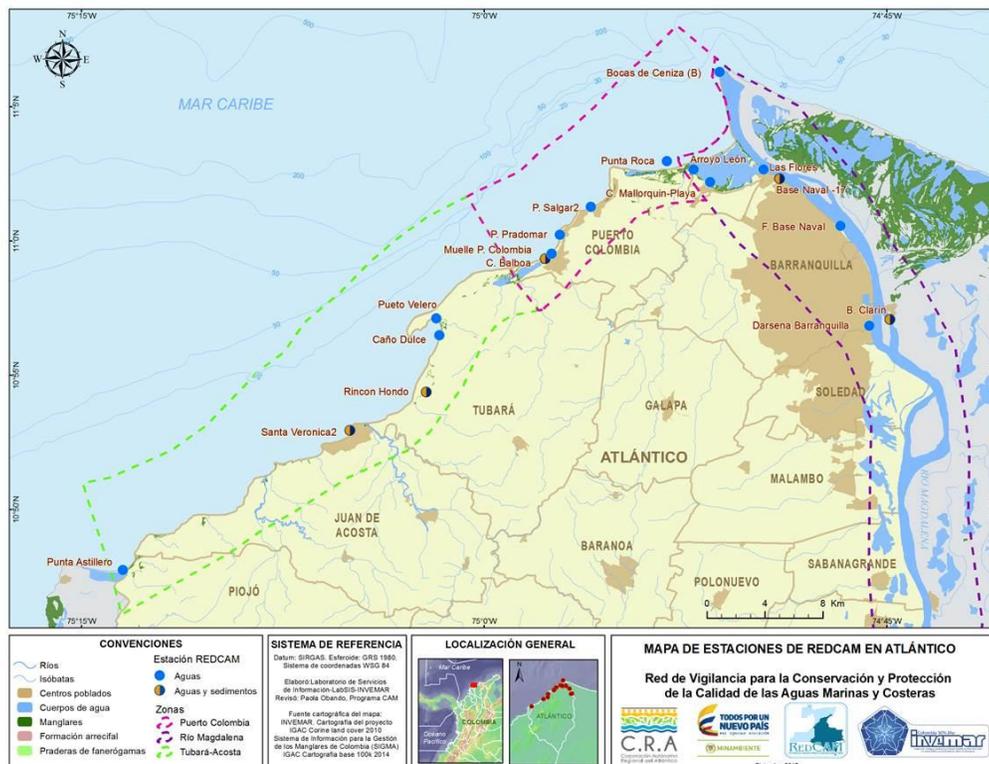


Figura 6.1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos azules y marrón con azul) en el departamento del Atlántico.

La zona **río Magdalena** comprende parte de la cuenca baja del río Magdalena y la ciénaga de Mallorquín, en donde se desarrollan actividades portuarias, agrícolas y se vierten aguas residuales provenientes de Barranquilla y Soledad. En la ciénaga Mallorquín desemboca el arroyo León que recibe aguas residuales y pluviales de la ciudad de Barranquilla. En esta zona se tienen siete estaciones de muestreo para aguas superficiales, en dos de las cuales (Base Naval-17 y boca del Caño Clarín) se recolectan sedimentos (Figura 6.1) para medir contaminantes.

La zona **Puerto Colombia** abarca la franja costera del municipio de Puerto Colombia, en donde se desarrollan actividades turísticas. Esta zona cuenta con cinco estaciones de muestreo de agua superficial, en una de las cuales (Muelle Puerto Colombia) se recolectan sedimentos (Figura 6.1).

La zona **Tubará-Acosta**, corresponde a la costa de los municipios de Juan de Acosta y Tubará, en los cuales hay baja cobertura de alcantarillado, se desarrollan actividades turísticas en playa y se encuentran algunas ciénagas y playas de interés turístico. En esta zona se tiene cinco estaciones de muestreo de agua superficial, en dos de las cuales (Rincón Hondo y Santa Verónica 2) se muestrea sedimentos (Figura 6.1).

Los muestreos fueron realizados por el INVEMAR, en compañía de funcionarios de la Corporación (Figura 6.2), entre los días 26 y 27 de septiembre de 2016 (en adelante, septiembre de 2016) y en los días 27 y 28 de marzo de 2017 (en adelante, marzo de 2017). En agosto de 2016 se registró una precipitación acumulada de 120 mm, en septiembre de 2016 de 160 mm, y en marzo de 2017 de 0 mm ([IDEAM, 2017a](#)).



Figura 6.2. Salida de campo REDCAM. Acompañamiento de la corporación (a) Medición de parámetros *in situ* (b) y recolección de muestras de sedimentos (c y d), fotos: INVEMAR.

6.2 CALIDAD DE LAS AGUAS

La salinidad en las estaciones de muestreo varió entre 0 y 40,4 en septiembre de 2016 y entre 0 y 71 en marzo de 2017 (Figura 6.3). De las estaciones localizadas en la zona río Magdalena, seis presentaron salinidades entre 0 y 0,5 clasificándolas como aguas dulces; la desembocadura del arroyo León registró una salinidad de 1,8 en los dos muestreos, calificándola como agua salobre oligohalina ([Knox 2001](#)). La estación ciénaga Mallorquín-playa presentó aguas salobres en septiembre de 2016 (9,7) y aguas dulces (0) en marzo de 2017, lo cual comparado con los valores históricos registrados en la REDCAM ([INVEMAR, 2017a](#)), son valores considerablemente bajos, lo cual puede estar asociado a mayores aportes de agua dulce al sistema por parte del arroyo León.

En las zonas Puerto Colombia y Tubará Acosta, las playas presentaron condiciones típicas de aguas marinas mesohalinas (30-34) y polihalinas (34-38) con valores entre 34,4 y 35,0 en septiembre de 2016, y 33,9 y 36,7. Las ciénagas de Balboa y Puerto Caimán (Rincón Hondo) presentaron las más altas salinidades en el mes de marzo (

Figura 6.3b), con valores de 63,5 y 71,0 respectivamente, lo cual se asocia con los bajos aportes de aguas dulces debido a las bajas precipitaciones registradas ([IDEAM, 2017b](#)).

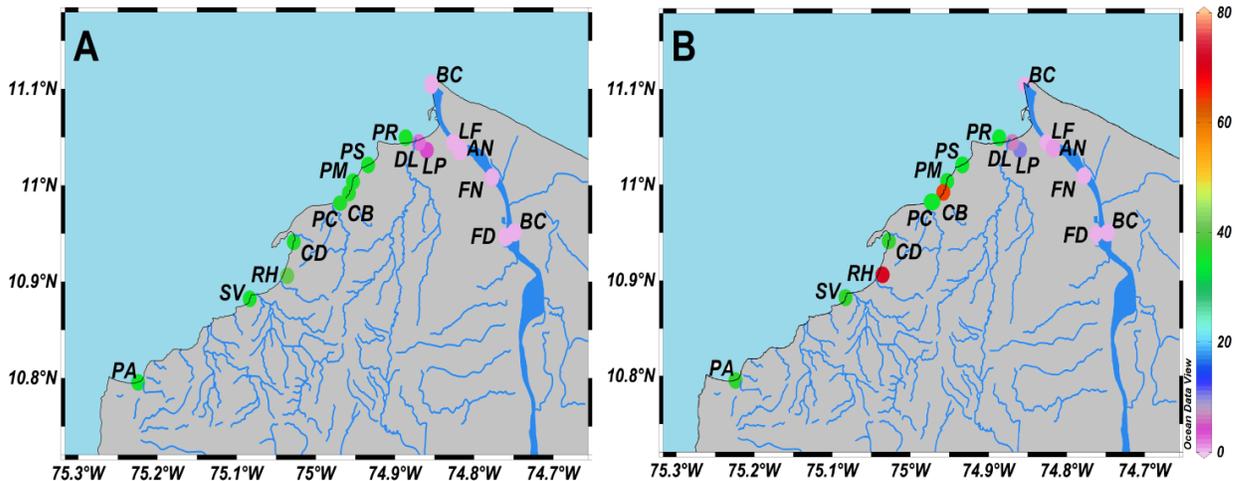


Figura 6.3. Salinidad del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en A) septiembre de 2016 y B) marzo de 2017. PA: Playa Punta Astillero, SV: Playa Santa Verónica, RH: Rincón Hondo, CD: Playa Caño Dulce, PC: Playas Puerto Colombia, CB: Ciénaga Balboa, PM: Playa Pradomar, PS: Playas de Salgar, PR: Punta Roca, DL: Desembocadura Arroyo León, LP: Urb. La Playa, BC: Bocas de Ceniza, LF: Las Flores, Aguas Residuales, AN: Aguas Abajo Base Naval, FN: Frente a Base Naval, FD: Frente a Dársena, BC: Boca Caño Clarín.

La temperatura del agua se midió entre las 9:00 am y 4:00 pm. En septiembre de 2016 la temperatura osciló entre 30,3 y 38,8 °C, y en marzo de 2017, entre 27,5 y 35,7 °C: (Tabla 6.1); presentándose valores más altos en el período de mayores precipitaciones, sin embargo, en los días de muestreo no se presentaron lluvias y el día estuvo soleado, lo que puede influir en las mediciones, sumado a la diferencia horaria entre muestreos. La estación con mayor temperatura

fue la Ciénaga Balboa con 34°C en septiembre de 2016 y 31,9°C en marzo de 2017, lo cual se relaciona con la baja profundidad del sistema. Es de resaltar que la temperatura es un factor regulador del metabolismo de los organismos (Gillooly *et al*, 2002. En: [Elosegi y Sabater, 2009](#)) pudiendo afectar sus tasas de reproducción y crecimiento. Además, esta variable es inversamente proporcional a la solubilidad del oxígeno atmosférico en el agua ([Ramírez y Viña, 1998](#)), lo cual se evidencia en sistemas como Frente a Base Naval (32,5 °C en septiembre 2016; 0,3 mg O₂/L) y Base Naval (35,7 °C en marzo 2017; 3,75 mg O₂/L).

Tabla 6.1. Temperatura del agua superficial en las estaciones REDCAM en Atlántico en los muestreos realizados en septiembre de 2016 y marzo de 2017.

Zona	Estación	septiembre de 2016		marzo de 2017	
		Hora	TEM °C	Hora	TEM °C
Río Magdalena	Dársena Barranquilla	10:15	31,1	11:44	31
	Boca de caño Clarín	09:55	30,3	11:57	29,1
	Frente a Base Naval	12:20	32,5	11:15	29,3
	Base Naval -17	11:45	30,7	10:27	35,7
	Las Flores	11:15	30,5	10:14	28,7
	Ciénaga Mallorquín-Playa	10:01	30,9	09:35	28,1
	Arroyo León	09:20	30,9	09:02	27,5
	Bocas de Ceniza (B)	10:55	30,4	09:52	28,7
Puerto Colombia	Punta Roca	16:50	30,8	16:10	28,6
	Playa Salgar2	16:28	30,9	15:20	29,4
	Playa Pradomar	16:03	38,8	15:00	29,6
	Muelle Puerto Colombia	15:40	31	13:30	29,4
Tubará – Acosta	Ciénaga de Balboa	15:05	34	13:10	31,9
	Caño Dulce	13:10	31,9	12:35	28,9
	Ciénaga de Rincón Hondo	12:38	34,2	12:05	31,2
	Santa Veronica2	12:10	31,6	11:30	28,1
	Punta Astillero	11:16	31,5	10:45	28,8

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) estuvieron entre 0,30 y 9,55 mg de O₂/L (Figura 6.4). La mayoría de las estaciones presentaron valores superiores a 4 mg de O₂/L, valor mínimo establecido para la preservación de la flora y fauna acuática ([MinSalud, 1984](#)), con excepción de Base Naval Cr17 y Frente a Base Naval, con concentraciones de 0,30 mg de O₂/L en el mes de septiembre y 3,75 mg O₂/L en el mes de marzo, respectivamente. Estas estaciones históricamente han presentado una calidad del agua inadecuada, especialmente en el segundo semestre del año ([INVEMAR, 2017a](#)), asociada a la presencia de vertimientos de aguas residuales con una alta carga de materia orgánica. Adicionalmente, en la estación Base Naval Cr 17 se identificó la presencia de la macrófita Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*); esta macrófita crece en altas densidades en ambientes con concentraciones elevadas de nutrientes y materia orgánica y en sistemas de baja profundidad (1 metro en Base Naval Cr 17), puede llegar a consumir el oxígeno de la columna del agua (Figura 6.5; [Malik, 2007](#)).

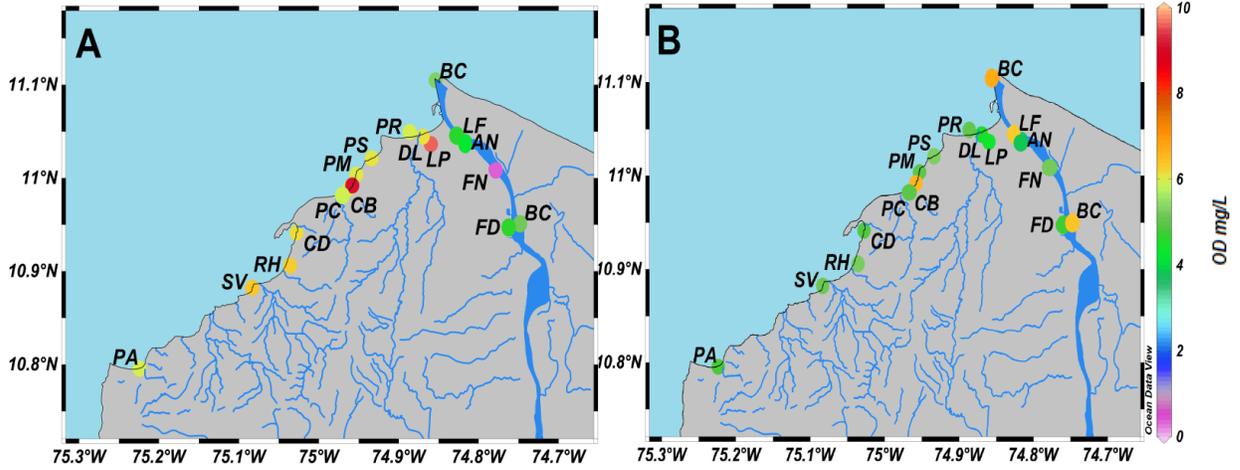


Figura 6.4. Oxígeno disuelto (OD) en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en los muestreos de en A) septiembre de 2016 y B) marzo de 2017. PA: Playa Punta Astillero, SV: Playa Santa Verónica, RH: Rincón Hondo, CD: Playa Caño Dulce, PC: Playas Puerto Colombia, CB: Ciénaga Balboa, PM: Playa Pradomar, PS: Playas de Salgar, PR: Punta Roca, DL: Desembocadura Arroyo León, LP: Urb. La Playa, BC: Bocas de Ceniza, LF: Las Flores, Aguas Residuales, AN: Aguas Abajo Base Naval, FN: Frente a Base Naval, FD: Frente a Dársena, BC: Boca Caño Clarín.



Figura 6.5. Estaciones de muestreo en Atlántico. a) Presencia de macrófita acuática *Eichhornia crassipes* en Base Naval Cra 17 y color verdusco por florecimiento de algas en la b) ciénaga de Mallorquín y en la c) ciénaga de Balboa

En las ciénagas de Mallorquín y de Balboa se presentaron concentraciones superiores a 9,0 mg/L y saturación de OD superior a 150% en septiembre de 2016, lo que refleja condiciones de eutroficación propiciada por la descarga de aguas residuales de las poblaciones aledañas, las bajas profundidades de los sistemas y el bajo recambio de agua. La eutroficación promueve el florecimiento de microalgas (Figura 6.5 b y c), que en el día generan altas concentraciones de oxígeno, pero en la noche consumen el OD y ocasionan disminuciones drásticas en las concentraciones de oxígeno disponible para otros organismos aerobios, afectando la calidad del agua para la preservación de la fauna ([Manahan, 2007](#); [Camargo y Alonso, 2006](#); [Wright y Colling, 1995](#)).

En la Figura 6.6 se presentan los promedios históricos de oxígeno disuelto, registrados en las zonas de muestreo REDCAM del departamento del Atlántico. La temporada climática y la variabilidad interanual tienen una gran influencia en las concentraciones de OD, presentándose los valores más altos en el primer semestre del año, que corresponde a la temporada seca en el departamento, donde se presentan menores descargas de afluentes y escorrentía superficial y por ende, menores aportes de material orgánico susceptible de degradación y consumo de oxígeno. Así mismo, se observa una disminución significativa del oxígeno en los años 2010 y 2011, que coincide con las altas precipitaciones que se presentaron por el evento La Niña que ocurrió a mediados del 2010 y principios de 2011 ([IGAC et al., 2011](#)).

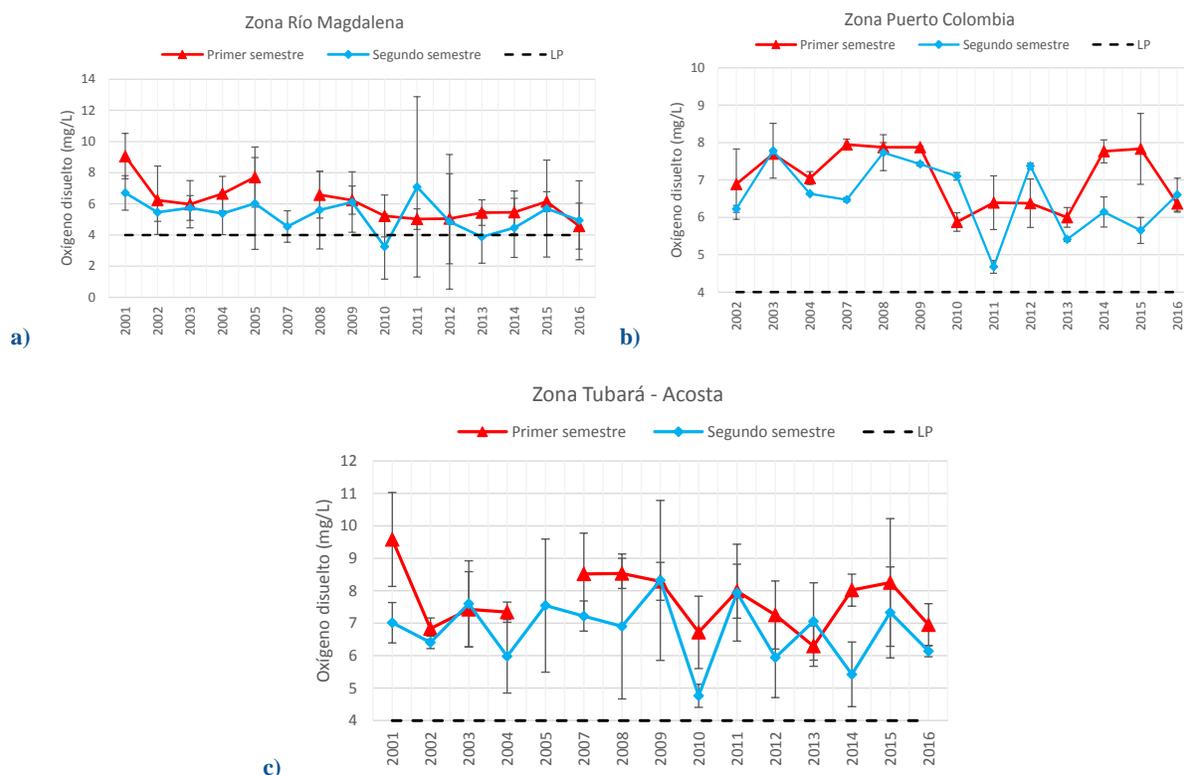


Figura 6.6. Registros históricos de valores promedio de oxígeno disuelto en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Atlántico, en el primer semestre y segundo semestre de los años entre 2001 y 2016. La línea negra punteada en 4,0 mg de O₂/L indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

En la zona de río Magdalena (Figura 6.6a) se ha presentado una alta variación en las concentraciones de OD, el menor valor (0,13 mg de O₂/L) se registró en la estación Frente Base Naval en el segundo semestre de 2012 y la mayor concentración (12,15 mg de O₂/L) en la ciénaga de Mallorquín, en el primer semestre de 2012. Algunos valores se han encontrado por debajo del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna (4 mg de O₂/L) y están relacionados con la presencia de vertimientos de aguas residuales que aumentan la concentración de materia orgánica y el consumo de OD. Como tendencia general, se evidencia una disminución de los valores promedio de OD, indicando un deterioro paulatino de la calidad del agua en esta zona.

En la zona Puerto Colombia (Figura 6.6b), se han registrado concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas para la preservación de la flora y fauna acuática, tanto el primer semestre (época seca) como en el segundo semestre (época lluviosa). Esto es debido a que en esta zona hay pocos aportes de aguas residuales.

En la zona de Tubará-Acosta se han presentado niveles de OD por encima del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna (4 mg de O₂/L; [MinSalud, 1984](#)) durante todo el monitoreo de la REDCAM (Figura 6.6c). Sin embargo, se ha presentado una alta variación en el tiempo debido a las concentraciones que registra la ciénaga de Balboa con valores de hasta 12,01 mg de O₂/L en el segundo semestre de 2009.

El pH osciló entre 7,2 y 8,9 (Figura 6.7), encontrándose la mayoría dentro del rango permisible del Decreto 1594 de 1984, para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5-9,0) y en aguas marinas y estuarinas (6,5- 8,5 [MinSalud, 1984](#)), a excepción de la estación de la ciénaga de Mallorquín que presentó un pH ligeramente por encima (8,9; Figura 6.7), debido a la influencia de la actividad fotosintética del fitoplancton, los cuales favorece el aumento de pH ([Manahan, 2007](#)).

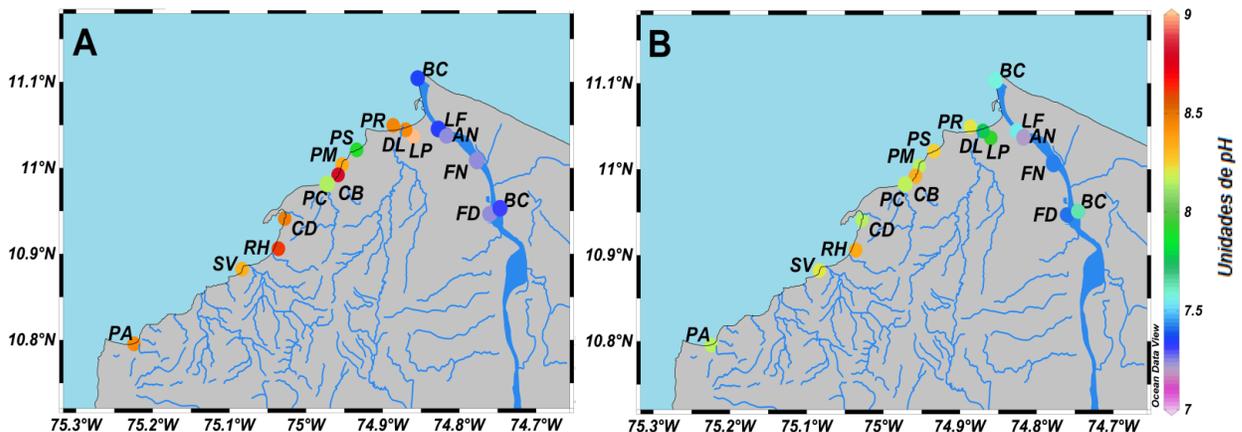


Figura 6.7. Valores de pH del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en los muestreos de A) septiembre de 2016 y B) marzo de 2017. PA: Playa Punta Astillero, SV: Playa Santa Verónica, RH: Rincón Hondo, CD: Playa Caño Dulce, PC: Playas Puerto Colombia, CB: Ciénaga Balboa, PM: Playa Pradomar, PS: Playa de Salgar, PR: Punta Roca, DL: Desembocadura Arroyo León, LP: Urb. La Playa, BC: Bocas de Ceniza, LF: Las Flores, AN: Aguas Residuales, FN: Frente a Base Naval, FD: Frente a Dársena, BC: Boca Caño Clarín.

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 30,3 y 523 mg/L, encontrándose las mayores concentraciones en el muestreo de marzo del 2017, en las estaciones de la ciénaga de Rincón Hondo y Boca Caño Clarín, con 523 y 424 mg de SST/L respectivamente. Según la escala de calidad de agua propuesta por [CONAGUA \(2015\)](#), estas estaciones se clasifican como aguas fuertemente contaminadas (400 mg de SST/L; Figura 6.8). En el caso de la ciénaga de Rincón Hondo estos valores están asociados a la baja precipitación de la época climática y a las altas temperaturas que propician la evaporación del agua y la concentración de SST; la Boca Caño Clarín, es una estación con una alta intervención antrópica dada la construcción del Puente Pumarejo que sumado a las altas cargas de sólidos que trae consigo el río Magdalena, le confiere estas características especialmente en el primer semestre del año, según los registros históricos de la REDCAM ([INVEMAR, 2017a](#)).

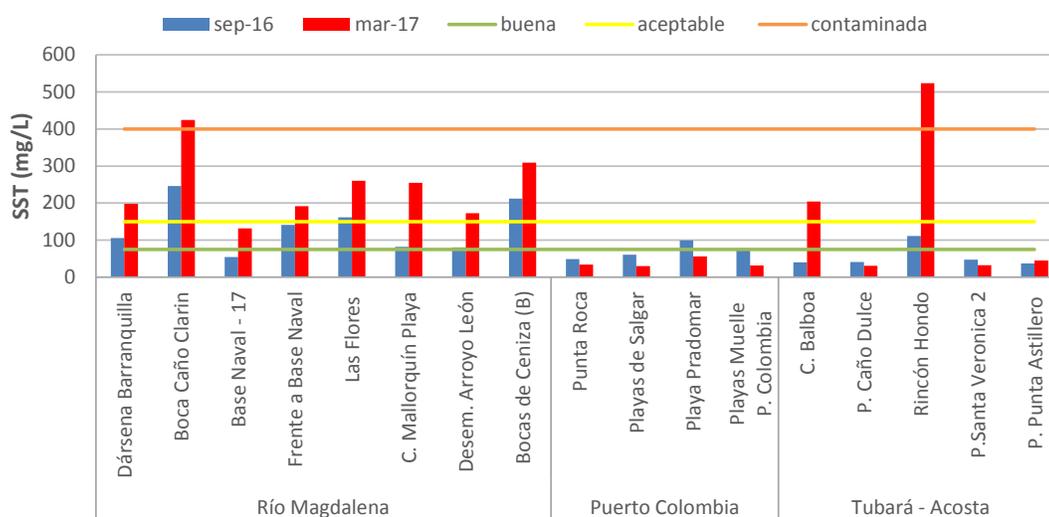


Figura 6.8. Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Atlántico, en los muestreos de septiembre de 2016 y marzo de 2017. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015): buena= >25<75 mg/L; aceptable=>75<150 mg/L; contaminada: >150<400 mg/L; fuertemente contaminada: >400 mg/L.

La Figura 6.9 muestra los resultados de los nutrientes inorgánicos disueltos obtenidos en los muestreos de septiembre de 2016 y marzo de 2017. En general, las mayores concentraciones de nutrientes en el departamento del Atlántico se presentaron en la zona del río Magdalena (Figura 6.9). En el caso del amonio ($N-NH_4^+$) la ciénaga de Mallorquín y el Arroyo León presentaron concentraciones de 1.287 y 3.083 μg de $N-NH_4^+$ /L respectivamente, en el segundo semestre de 2016, y de 6.645 y 6.398 μg de $N-NH_4^+$ /L respectivamente, en el primer semestre de 2017. Estas concentraciones son producto de los aportes de aguas residuales del suroccidente de la población de Barranquilla al arroyo León que finalmente desemboca en la ciénaga y a las descargas directas de las viviendas palafíticas ubicadas dentro del sistema lagunar que no cuentan con conexión al servicio de alcantarillado. En comparación con los registros históricos de la REDCAM ([INVEMAR, 2017a](#)), los valores obtenidos en el primer semestre de 2017 superan considerablemente los valores obtenidos durante los años de monitoreo; en el caso de

la ciénaga de Mallorquín la concentración de amonio más alta ($1.547 \mu\text{g}$ de N-NH_4^+ /L) se reportó en el segundo semestre de 2009, mientras que en el arroyo León fue de $3.749 \mu\text{g}$ de N-NH_4^+ /L en el primer semestre de 2014. Estos resultados generan una alerta frente a la disposición inadecuada de los vertimientos de aguas residuales, por lo cual se recomienda realizar un seguimiento más frecuente a estas condiciones para establecer si están relacionados con eventos esporádicos o permanentes.

Las estaciones Boca Caño Clarín ($326 \mu\text{g}$ de N-NH_4^+ /L) en la zona del río Magdalena y las Playas del Muelle de Puerto Colombia ($386 \mu\text{g}$ de N-NH_4^+ /L), también alcanzaron concentraciones altas de amonio, en el primer semestre de 2017 (Figura 6.9a). La primera estación recibe las aguas del río Magdalena, el cual agua tiene diversas fuentes de nutrientes como las aguas de escorrentías de tierras agrícolas y ganaderas de la cuenca del río, vertimientos de aguas residuales sin tratamiento de diferentes municipios ribereños y algunas fuentes naturales, entre otros que causan deterioro de la calidad del agua para sus diferentes usos. Para las playas de Puerto Colombia es el primer reporte de concentraciones superiores a $50 \mu\text{g}$ de N-NH_4^+ /L ([INVEVAR, 2017a](#)), lo cual puede estar asociado a vertimientos puntuales.

A pesar de que para esta forma ionizada del amonio aún no se tiene límite permisible para la preservación de flora y fauna en agua dulce, marinas y estuarinas en normas nacionales ([MinSalud, 1984](#)) y guías internacionales ([EPA, 1976](#); [EPA, 1980](#); [CCME, 2010](#)), las altas concentraciones indican contaminación por vertimientos de aguas residuales y puede provocar problemas relacionados con la eutroficación, como incrementos de las densidades de algas, aumento de materia orgánica por productividad primaria, disminución de las concentraciones adecuadas (4 mg/L) de oxígeno disueltos, entre otros, que conllevan al detrimento de la calidad del agua ([Cárdenas y Sánchez, 2013](#)).

En relación a las concentraciones de nitritos (N-NO_2^-), los valores oscilaron entre menor al límite de cuantificación ($<0,7 \mu\text{g}$ de N-NO_2^- /L) y $2.409 \mu\text{g}$ de N-NO_2^- /L (Figura 6.9b). Al igual que el amonio, las estaciones con mayor concentración de nitritos fueron la ciénaga de Mallorquín y el arroyo León, específicamente en el período seco (marzo 2017) y superaron en gran medida los históricos de la REDCAM ([INVEVAR, 2017a](#)). Le siguieron en valores las estaciones de la Base Naval (Carrera 17) y Frente a Base Naval con $16 \mu\text{g}$ de N-NO_2^- /L y $10 \mu\text{g}$ de N-NO_2^- /L en el segundo semestre de 2016, y Dársena Barranquilla con $13 \mu\text{g}$ de N-NO_2^- /L, en marzo de 2017. Estos valores están asociados a la presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas de las poblaciones asentadas en cercanías al río Magdalena.

Las mayores concentraciones de nitratos (N-NO_3^-) se registraron en el muestreo de marzo de 2017, en las estaciones arroyo León, ciénaga de Mallorquín y las asociadas al río Magdalena (Figura 6.9c). En relación al comportamiento histórico, el valor registrado en Dársena Barranquilla, Boca Caño Clarín, superó las concentraciones de los últimos siete años (2010-2017), mientras que en Frente a Base Naval, Base Naval -17, las Flores y Bocas de Ceniza los valores excedieron los valores máximos registrados durante el monitoreo de la REDCAM ([INVEVAR, 2017a](#)).

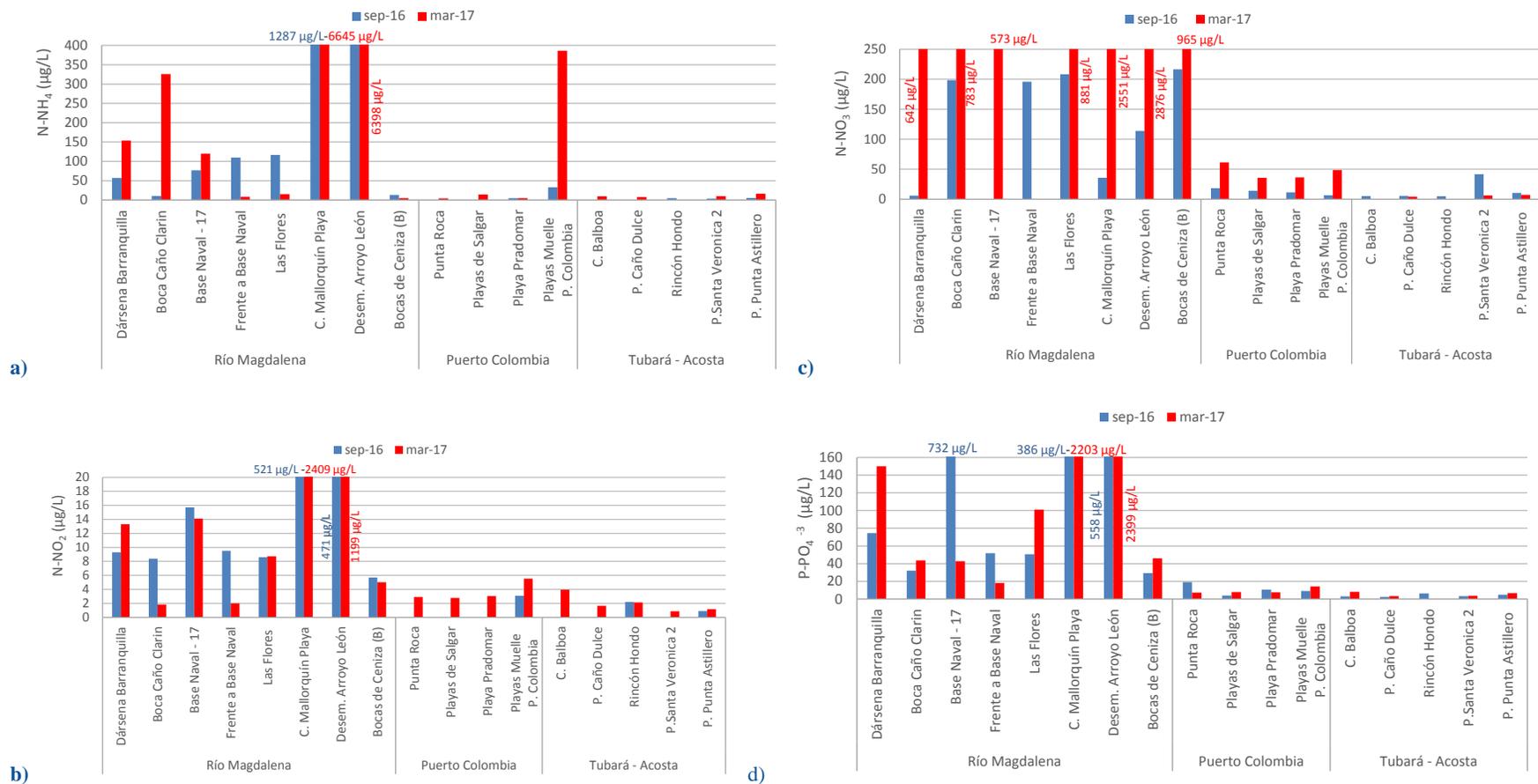


Figura 6.9. Concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitritos (N-NO₂⁻), c) nitratos (N-NO₃⁻) y d) ortofosfatos (P-PO₄⁻³), en el agua superficial de las estaciones de muestreo REDCAM del departamento de Atlántico, en los muestreos de septiembre de 2016 y marzo de 2017.

Las mayores concentraciones de ortofosfatos ($P-PO_4^{-3}$) se registraron en las estaciones de la ciénaga de Mallorquín y en el arroyo León en marzo de 2017, con valores de hasta 2.399 y 2.203 μg de $P-PO_4^{-3}/L$, respectivamente. Le siguió la estación de Frente Base Naval con 732 μg de $P-PO_4^{-3}/L$ en septiembre de 2016. Históricamente (2001 - 2016) las concentraciones de ortofosfatos han oscilado entre 0,38 y 973,6 μg de $P-PO_4^{-3}/L$. La concentración más elevada de 973,6 μg de $P-PO_4^{-3}/L$ se determinó en la estación Rincón Hondo, en el año 2014 ([INVEMAR, 2017a](#)).

A manera general, el incremento drástico ocurrido en la concentración de nutrientes inorgánicos en la zona marino costera del departamento del Atlántico en marzo de 2017, obedece a la ausencia de precipitaciones ([IDEAM, 2017a](#)) y a la consecuente evaporación del agua que concentra los compuestos y contaminantes, situación observada también en SST, especialmente en las estaciones Boca Caño Clarín, arroyo León, ciénaga de Mallorquín y Las Flores. En la misma forma, el reporte de valores de concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos que superaron los registros históricos de la REDCAM son evidencia del efecto acumulativo que la disposición inadecuada de vertimientos ejerce sobre la calidad de las aguas, que en el caso de las lagunas costeras, acelera los procesos de colmatación de las mismas ([Ramírez y Viña, 1998](#)), afecta de manera significativa la supervivencia de los organismos que las habitan y eventualmente, limita las actividades económicas como la pesca artesanal que ahí se desarrollan, como se ha reportado en diversas ocasiones ([Semana Sostenible, 2014](#), [El Heraldó, 2018](#)). Por eso, es necesario que se implementen medidas de manejo efectivas que prevengan, mitiguen y corrijan estos impactos.

La calidad sanitaria de las aguas del departamento se evaluó con base en las concentraciones de coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE). En la zona del río Magdalena se registraron las mayores concentraciones de CTT (Tabla 6.2), evidenciando una alta contaminación microbiológica, que incluso superó los límites máximos permisibles para el contacto primario (1.000 NMP/100 mL) y secundario (5.000 NMP/100 mL; Tabla 6.2). Se destacan las estaciones de Base Naval (Cr 17) que alcanzó el reporte CTT de 24.000.000 NMP/100 mL, de los cuales 4.900.000 NMP/100 mL correspondieron a CTE y Frente a Base Naval con una concentración de CTT de 1.300.000 NMP/100 mL y CTE de 540.000 NMP/mL, en el mes de septiembre de 2016. Estos resultados corroboran la contaminación por vertimientos de aguas residuales en estas dos estaciones.

En estaciones asociadas al río Magdalena (Base Naval, Las Flores), en la desembocadura del arroyo León y en las playas de Puerto Colombia, se presentaron mayores concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE), en el muestreo de septiembre de 2016 (Tabla 6.2), lo cual está asociado a mayores aportes de agua dulce ya sea por lluvias que favorecen los aumentos en los niveles de coliformes ([Chigbu et al., 2005](#)) y la supervivencia de estos microorganismos por un tiempo más prolongado ([Fuentes et al., 2009](#)) y el evidente aumento en los caudales del río Magdalena en este período.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible para el uso recreativo por contacto primario, las aguas de las playas de Puerto Colombia no fueron aptas para el desarrollo de actividades como la natación y el buceo libre; así mismo, el percentil 90 indica que estas condiciones son típicas de estas playas, lo cual es un factor importante para la gestión de las actividades económicas en el sector.

Tabla 6.2. Concentraciones de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Atlántico, en los muestreos de septiembre de 2016 y marzo de 2017. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de MinSalud (1984).

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		sep-16	mar-17	Rango histórico	Percentil 90	sep-16	mar-17	Rango histórico	Percentil 90
Río Magdalena	Dársena Barranquilla	490.000	790.000	3.500 – 3.900.000	1.600.000	490.000	490.000	2.000 – 4.500.000	1.600.000
	Boca Caño Clarín	5.400	16.000	230 – 33.500	19.554	1.300	5.400	37 – 27.100	2.500
	Base Naval – (Cr 17)	24.000.000	1.400.000	2.200 – 16.000.000	1.732.800	4.900.000	330.000	200 – 16.000.000	789.500
	Frente a Base Naval	1.300.000	490.000	9.200 – 2.419.600	1.600.000	30.000	490.000	3.500 – 1.600.000	646.000
	Las Flores	540.000	240.000	70 – 9.200.000	528.000	540.000	79.000	30 – 540.000	414.000
	C. Mallorquín Playa	13.000	21.000	3 – 350.000	154.000	13.000	17.000	3 – 70.000	10.550
	Desem. Arroyo León	160.000	540.000	450 – 24.196	20.918	160.000	39.000	2.400 – 15.100	11.950
	Bocas de Ceniza (B)	24.000	7.000	230 – 135.100	76.600	4.900	4.600	2 – 92.000	75.228
Puerto Colombia	Punta Roca	16.000	22	78 – 50.000	20.000	16.000	5	20 – 50.000	2.700
	Playas de Salgar	1.100	1.400	78 – 20.000	3.723	1.100	700	20 – 3.500	1.490
	Playa Pradomar	1.600	70	20 – 6.015	1.914	1.600	21	20 – 660	555
	Playas Muelle P. Colombia	1.300	1.400	20 – 410.000	8.578	1.300	270	20 – 180.000	3.020
Tubará Acosta	C. Balboa	24	9	2 – 17.000	16.000	24	9	2 – 13.000	6.600
	P. Caño Dulce	49	9	2 – 12.000	1.700	49	2	2 - 480	350
	Rincón Hondo	79	11	6,8 - 52	47	49	2		
	P. Santa Verónica 2	130	130	1,8 – 15.000	3.960	130	49	1,8 – 3.000	451
	P. Punta Astillero	11	12	1,8 – 9.200	1.916	2	9	1,8 – 9.200	531
Límite permisible contacto primario		1.000				200			
Límite permisible contacto secundario		5.000							

Las concentraciones de enterococos fecales (EFE) en las estaciones de playa de importancia turística se presentan en la Tabla 6.3. Teniendo en cuenta los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003), en el muestreo de septiembre de 2016, la mayoría de las playas presentaron concentraciones de EFE que representan un riesgo entre 1 y 5% de contraer enfermedades gastrointestinales agudas (EGI), y entre 0,3 y 1,9% de contraer enfermedades febriles agudas (ERFA). La estación Punta Roca presentó el valor más alto de EFE del monitoreo (760 UFC/mL), superando los registros históricos de la REDCAM, y representando un riesgo de contraer EGI de más del 10% y ERFA de más del 3,9% (Tabla 6.3). En el muestreo de marzo de 2017, en algunas estaciones se observó mejoría de las condiciones de calidad, debido a que bajaron los niveles de EFE. La estación Punta Roca presentó aún valores altos de EFE con 124 UFC/100 mL, con un riesgo de contraer EGI entre el 1 y el 5%, y ERFA entre el 0,3 y 1,9%.

Tabla 6.3. Enterococos fecales (EFE) medidos en las estaciones de playa de REDCAM Atlántico en los muestreos de septiembre de 2016 y marzo de 2017, y el registro histórico 2001-2016. *valor de referencia de la OMS (2003) para el riesgo de contraer enfermedades Gastrointestinales (EGI) y Respiratoria Febril Aguda (ERFA) respectivamente. No medido (-).

Zona	Estación	EFE (UFC/100mL)					
		sep-16	Rango histórico	Percentil 90	mar-17	Rango histórico	Percentil 90
Puerto Colombia	Punta Roca	760	14 - 64	54,8	124	36 - 149	137,7
	Playas de Salgar	54	5 - 48	37,2	11	0 - 125	90,8
	Playa Pradomar	8	18 - 231	229,2	15	7 - 98	38,6
	Playas Puerto Colombia debajo del Muelle	22	33 - 1720	1.570,6	30	9 - 99	46
Tubará - Acosta	Playa Caño Dulce	5	4 - 103	90,6	91	0 - 204	63,3
	Playa Santa Veronica (2)	50	3 - 1.370	706	10	0 - 36	12,6
	Playa Punta Astillero (Bocatocino)	2	2 - 30	19,5	1	0 - 44	34,4
Valores de referencia OMS (2003)		≤40 UFC/100 mL, <1% de contraer EGI y <0,3% de contraer ERFA.					
		41–200 UFC/100 mL, 1 – 5% EGI, 0,3 y 1,9% ERFA					
		201–500 UFC/100 mL, 5–10% de EGI y 1,9–3,9% de ERFA.					
		>500 UFC/100 mL, >10% de EGI y >3,9% de ERFA					

En cuanto a los contaminantes orgánicos en el agua superficial, las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) no superaron la referencia para aguas costeras con contaminación baja (>5 <10 µg/L) y de aguas marinas contaminadas (>10 µg/L) (Figura 6.10) (UNESCO, 1984; Zanardi *et al.*, 1999; Acuña-González *et al.*, 2004). La presencia de HPDD se asocia a la actividad turística, tráfico de lancha, actividades portuarias y vertimientos de aguas residuales (Vivas-Aguas *et al.*, 2014a).

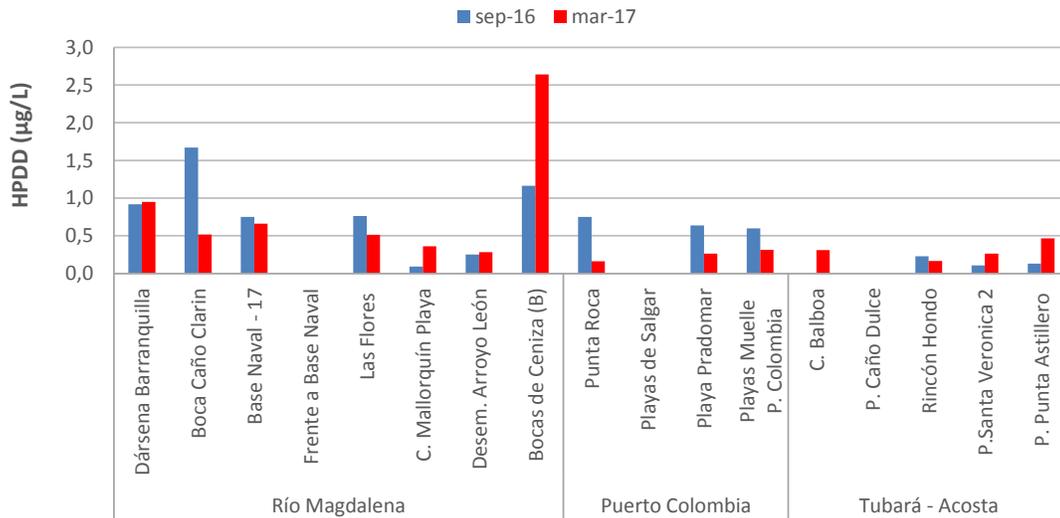


Figura 6.10. Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Atlántico, en los muestreos de septiembre de 2016 y marzo de 2017. Los cuadros de color azul corresponden a aguas marinas y la roja a agua dulce.

Entre los años 2001 y 2016, en las zonas de muestreo del departamento del Atlántico, las concentraciones promedio de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) han estado en el nivel de contaminación baja, según lo propuesto por UNESCO (1984), Zanardi *et al.*(1999) y Acuña-González *et al.* (2004), a excepción de las zonas de río Magdalena y Tubará Acosta en los años 2001, en donde se registraron concentraciones por encima de 10 µg/L, calificando las aguas como contaminadas (Figura 6.11). En Boca de Caño Clarín se reportó la concentración de 6,5 µg de HPDD/L en el primer semestre y en Las Flores y Bocas de Ceniza (B) se registraron concentraciones de 12,4 y 10,5 µg de HPDD/L en el segundo semestre, respectivamente. En la zona Tubará-Acosta, la estación con mayor reporte de hidrocarburos en el año 2001 fue la ciénaga de Balboa con 8,4 µg de HPDD/L en el segundo semestre. Estos valores disminuyeron drásticamente en el tiempo y obedecieron a vertimientos puntuales industriales y domésticos en las estaciones de muestreo.

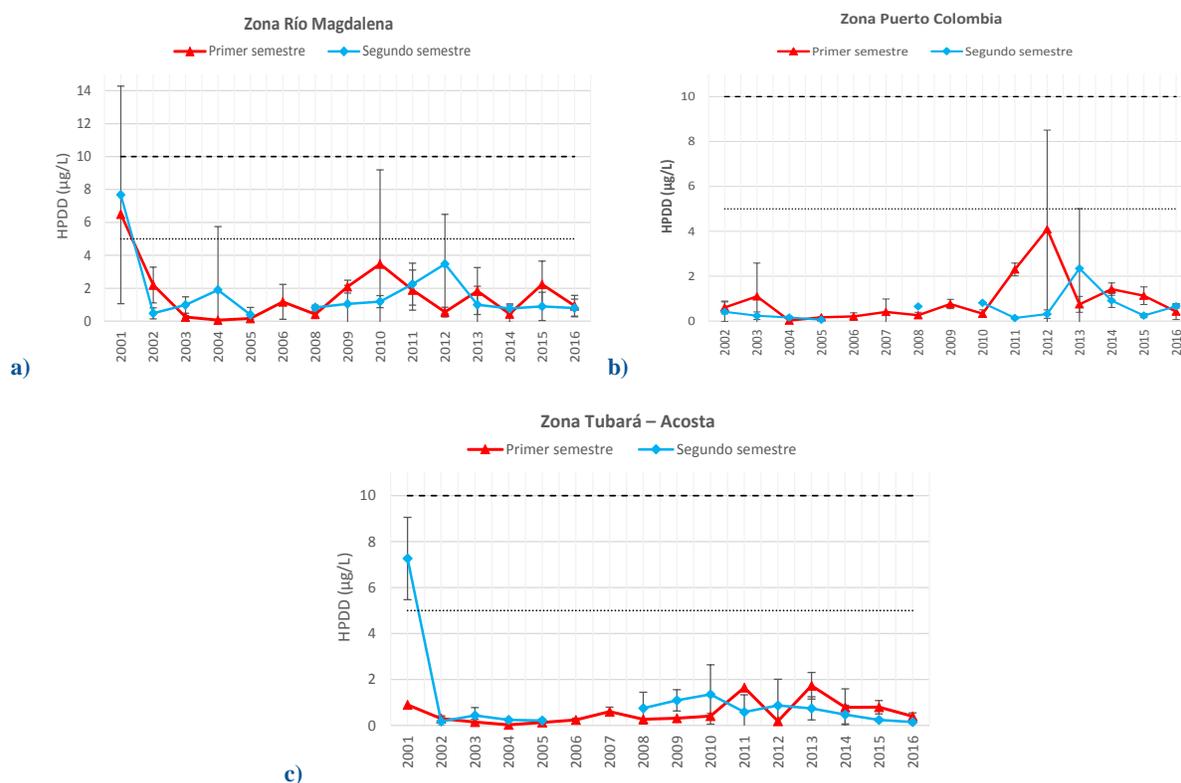


Figura 6.11. Promedio de las concentraciones de Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de criseno (HPDD) registradas entre los años 2001 y 2016 en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Atlántico. Valores de referencia de >10 µg/L para aguas contaminadas, >5 <10 µg/L para aguas costeras con contaminación baja y de 1 µg/L para aguas con contaminación no significativa (UNESCO, 1984; Zanardi *et al.*, 1999; Acuña-González *et al.*, 2004).

La mayoría de los plaguicidas organoclorados medidos estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR. En el muestreo de septiembre de 2016, en la estación Boca Caño Clarín, se registró el organoclorado Endrin en una concentración de 52,3 ng/L que superó el valor de referencia para efectos crónicos en la biota acuática en aguas dulces (36 ng/L; [EPA, 2016](#)); y en la ciénaga de Balboa el Endrin se registró en una concentración de 42,5 ng/L que superó ampliamente el valor de referencia para efecto crónico en la biota acuática en aguas marinas según la [EPA \(2016; 2,3 ng/L\)](#). Este plaguicida que era utilizado para controlar insectos, roedores y pájaros ([ATSDR, 1997](#)) fue prohibido mediante Resolución 447 de 1974 de Ministerio de Agricultura de Colombia. Otro plaguicida organoclorado reportado en este sistema fue Heptacloro Epóxido en el primer semestre de 2016. Cabe destacar que en el departamento del Atlántico se han detectado otros plaguicidas organoclorados en el marco de la REDCAM, como el Aldrin, DDT, Heptacloro total – HCH (heptacloro + heptacloroepóxido), Heptacloro Epóxido y Endosulfan I, siendo el año 2008 el de mayor detección de estos compuestos ([INVEMAR, 2017a](#)).

En relación a plaguicidas organofosforados, se cuantificó el compuesto Methyl Parathion en la ciénaga de Rincón Hondo en una concentración de 79,8 ng/L en septiembre de 2016. Según la Organización Mundial de la Salud, este compuesto es extremadamente peligroso y no está permitido su venta e importación en casi todos los países alrededor del mundo ([WHO, 2010](#)). Si bien no existe un valor de referencia específico para este compuesto, según la EPA ([2016](#)), la concentración en este muestreo superó la referencia para efectos agudos establecido para el Parathion (65 ng/L), sobre la biota acuática en ecosistemas marinos.

Los metales disueltos en las aguas del departamento del Atlántico, se muestra en la Tabla 6.4. En septiembre de 2016 y en marzo de 2017 el cadmio (Cd), el plomo (Pb) y el cromo hexavalente (Cr^{+6}) presentaron valores por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR, los cuales además están por debajo de los valores de referencia para efectos crónicos en aguas dulces y marinas ([Buchman, 2008; CONAMA, 2005](#)), por lo tanto no representaron un riesgo para la biota acuática. Los demás metales si bien fueron cuantificados por la técnica analítica, no representan un riesgo para la biota acuática en relación con efectos crónicos ni agudos.

Tabla 6.4. Metales disueltos medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Atlántico en µg/L. Los valores de referencia corresponde a Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). . Valores con el símbolo (<) indica el límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR.

Zona	Estación	Septiembre de 2016						Marzo de 2017					
		Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Fe	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Fe
Río Magdalena	Dársena Barranquilla	<3,1	<0,42	1,56	<6,9	<1,0	84,47	<3,1	<0,42	2,17	47,39	<1,0	41,08
	Boca Caño Clarín	<3,1	<0,42	2,00	<6,9	<1,0	127,83	<3,1	<0,42	2,33	43,04	<1,0	46,06
	Base Naval - 17	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	69,25	<3,1	<0,42	2,36	48,93	1,055	28,14
	Las Flores	<3,1	<0,42	2,50	<6,9	<1,0	113,07	<3,1	<0,42	2,17	30,55	<1,0	37,03
	C. Mallorquín Playa	<3,1	<0,42	1,63	6,875	<1,0	16,75	<3,1	<0,42	<0,97	12,80	<1,0	<4,7
	Arroyo León	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	2,74	14,85	<3,1	<0,42	1,69	88	<1,0	10,57
	Bocas de Ceniza (B)	<3,1	<0,42	2,11	<6,9	1,11	138,78	<3,1	<0,42	2,68	<6,9	<1,0	26,12

Zona	Estación	Septiembre de 2016						Marzo de 2017					
		Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Fe	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Fe
Puerto Colombia	Punta Roca	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	7,61	<3,1	<0,42	<0,97	<6,9	<1,0	<4,7
	Playa Pradomar	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	6,48	<3,1	<0,42	1,15	8,23	<1,0	<4,7
	Playas Muelle P. Colombia	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	<4,7	<3,1	<0,42	<0,97	24,63	<1,0	<4,7
Tubará Acosta	C. Balboa	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	8,24	<3,1	<0,42	1,21	9,69	<1,0	6,62
	Rincón Hondo	<3,1	<0,42	1,10	<6,9	<1,0	11,27	<3,1	<0,42	1,31	15,62	1,685	10,52
	P.Santa Verónica 2	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	<4,7	<3,1	<0,42	<0,97	<6,9	<1,0	<4,7
	Punta Astillero	<3,1	<0,42	<0,9	<6,9	<1,0	4,98	<3,1	<0,42	<0,97	44,89	<1,0	<4,7
Referencia Efectos crónicos agua marina		8,1	8,8	3,1	81	8,2	50	8,1	8,8	3,1	81	8,2	50
Referencia Efectos crónicos agua dulce		2,5	0,25	9	120	52	350	2,5	0,25	9	120	52	350

6.2.1 Calidad del agua de acuerdo con del ICAM_{PPF}

La aplicación del ICAM_{PPF} mostró que la calidad del agua superficial del 36% de las estaciones evaluadas en septiembre de 2016 fue adecuada, el 27% aceptable, el 18% inadecuada y el 18% pésima (Figura 6.12). La proporción de estaciones con calidad inadecuada y pésima está asociada a los contenidos altos de SST, coliformes termotolerantes y nutrientes inorgánicos que se asocian a vertimientos de aguas residuales.

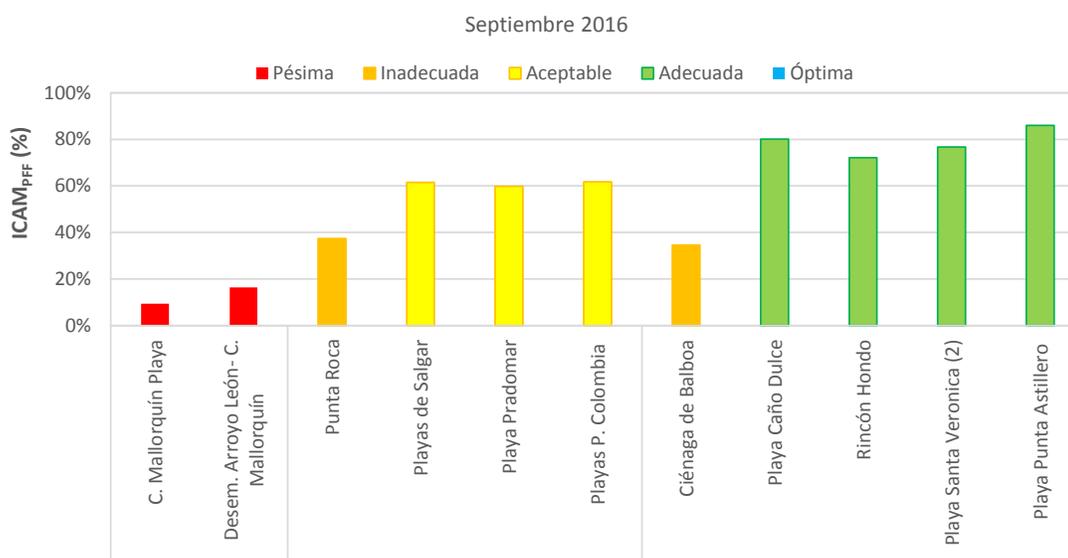


Figura 6.12. Calidad de las aguas en las estaciones marinas y estuarinas de la REDCAM en el departamento de Atlántico en el muestreo de septiembre de 2016, evaluadas con el del ICAM_{PPF}.

En el muestreo de marzo de 2017, la calidad de las aguas del departamento se deterioró, aumentando el porcentaje de estaciones con calidad pésima (27%) y aceptable (36%) para la preservación de flora y fauna (Figura 6.13). Se recomienda implementar un seguimiento más

frecuente en estos sistemas y que se inicie el estudio de los efectos de los contaminantes sobre organismos, con el fin de generar insumos para una gestión más eficiente de los ecosistemas marinos y costeros del departamento.

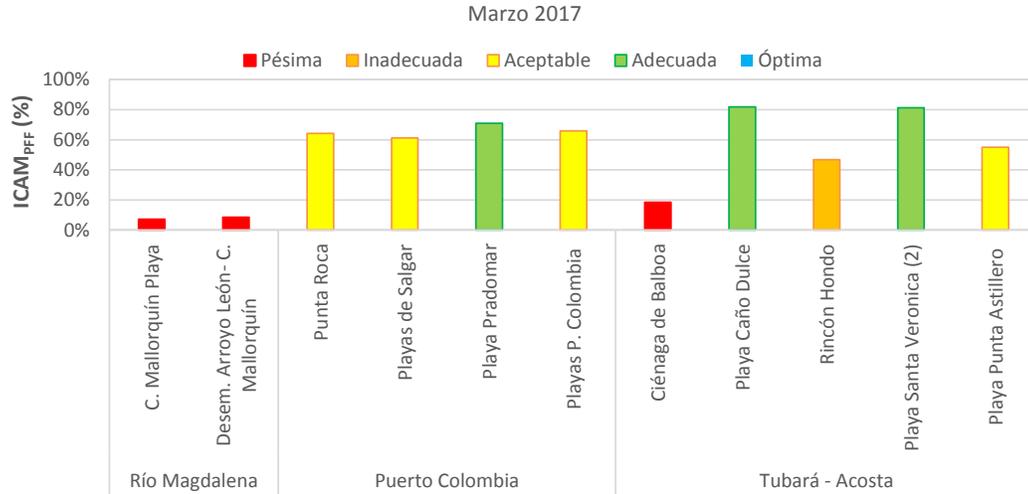


Figura 6.13. Calidad de las aguas en las estaciones marinas y estuarinas de la REDCAM en el departamento de Atlántico en el muestreo de marzo de 2017, evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

Mediante el cálculo del ICAM_{PFF} entre los años 2013 y 2016, se ha podido establecer que las condiciones de las aguas marinas y costeras en las zonas de muestreo han sido en mayor proporción adecuadas y aceptables (Tabla 6.5) para la preservación de flora y fauna, sin embargo, la proporción de estaciones con aguas inadecuadas es alta por los vertimientos de aguas residuales que afectan los niveles de oxígeno disuelto y ocasionan contaminación microbiológica.

Tabla 6.5. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las zonas del departamento del Atlántico en el periodo desde el 2013 al 2016.

Año	Zona	Inadecuada	Aceptable	Adecuada
2013	Puerto Colombia	25%	50%	25%
	Tubará – Acosta			100%
2014	Puerto Colombia	13%	63%	25%
	Tubará – Acosta	33%		67%
2015	Puerto Colombia	13%	38%	50%
	Tubará – Acosta		33%	67%
2016	Puerto Colombia	25,0%	38,0%	38,0%
	Tubará – Acosta	20,0%		80,0%

6.3 CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS

En los sedimentos colectados en septiembre de 2016 y marzo de 2017, se midieron 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), los cuales se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR. Cabe destacar que estos valores están por debajo de los valores de referencia de efecto umbral y probable descritos en [Buchman \(2008\)](#), lo cual indica que no existe contaminación por HAP.

De igual manera, los 41 plaguicidas medidos en los sedimentos de las estaciones de muestreo estuvieron por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica utilizada en el LABCAM del INVEMAR, con excepción del Methyl Parathion, que fue reportado en la Playa Santa Verónica (2) en el segundo semestre de 2016 en una concentración de 13,4 ng/g de peso seco. Aunque este compuesto no tiene un valor de referencia específico para efectos probables en la biota acuática, se ha comprobado su capacidad de bio-acumularse en organismos acuáticos expuestos a concentraciones de Methyl Parathion menores a la registrada en este muestreo (sedimentos: 7 ng/g; [De la Vega et al., 1997](#)), por lo cual es preciso continuar con el monitoreo de estos compuestos en sedimentos e incorporar el estudio de este tipo de contaminantes en organismos.

Los metales pesados totales (Cu, Cd, Pb, Zn y Hg) medidos en septiembre de 2016 y marzo de 2017, no superaron los valores de referencia para efectos probables (PEL) descritos en [Buchman \(2008\)](#) (Tabla 6.6). Sin embargo, algunos metales como el Cr y Ni, en estaciones Base Naval (Cr 17) y Boca Caño Clarín, superaron la referencia de efectos probables (PEL). Es importante que se sigan monitoreando estos metales para conocer su comportamiento, que se evalué su biodisponibilidad y otros factores que lo controlan.

Tabla 6.6. Concentraciones de metales pesados totales (en peso seco) medidos en sedimentos superficiales del departamento del Atlántico en septiembre de 2016 y marzo de 2017. Valores con el símbolo (<) indica el límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR. Las referencias de efectos probables (PEL) para sedimentos fueron tomados de la NOAA (Buchman, 2008). Las estaciones sombreadas corresponden a aguas dulces. Sin valor de referencia (-).

Zona	Estación	Septiembre de 2016								Marzo de 2017							
		Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni	Fe	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni	Fe	Hg
		µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	mg/g	ng/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	mg/g	ng/g
Río Magdalena	Base Naval (CRA - 17)	<0,5	19,5	102	50,2	154	49,7	36,8	111	<0,5	19,1	73,0	29,4	143	31,4	38,5	68,6
	Boca Caño Clarín	<0,5	15,9	97,2	39,4	129	44,6	36,5	98,9	<0,5	19,7	60,4	28,6	128	30,8	30,5	89,9
Puerto Colombia	Playas Muelle P. Colombia	<0,5	13,7	15,5	2,73	45,3	<2,0	10,7	4,70	<0,5	10,7	21,3	3,67	59,0	7,87	13,8	<3,0
Tubará-Acosta	Playa Santa Verónica (2)	<0,5	11,8	40,2	6,48	61,5	16,2	19,9	5,80	<0,5	15,8	61,8	2,81	98,7	12,8	39,0	<3,0
	Rincón Hondo	<0,5	5,39	9,72	1,36	42,9	<2,0	9,92	<3,0	<0,5	14,1	19,4	2,27	42,1	<2,0	25,2	3,19
Referencia PEL sedimentos marinos		4,2	112	160	108	271	42,8	-	700	4,2	112	160	108	271	42,8	-	700
Referencia PEL sedimentos de agua dulce		197	91,3	90	197	315	36	-	486	197	91,3	90	197	315	36	-	486

6.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ La calidad de las aguas en el departamento del Atlántico varió drásticamente entre períodos pluviométricos, presentando un mayor porcentaje de estaciones con condiciones adecuadas para la preservación de la flora y fauna acuática en septiembre de 2016 (época de lluvias). En marzo de 2017, debido a la ausencia de precipitaciones y altas tasas de evaporación se incrementó la concentración de nutrientes inorgánicos y sólidos suspendidos que tuvo conssecuencia en el aumento de estaciones con condiciones aceptables y pésimas.
- ❖ En el departamento del Atlántico no se han reportado estaciones con condiciones óptimas para la preservación de flora y fauna desde el año 2013. Esto es consecuencia del ineficiente manejo de las aguas residuales del Distrito y de los aportes provenientes del río Magdalena que generan impactos sobre los recursos hidrobiológicos marino costeros de la región que se han reportado de manera aislada por diversas fuentes. Se recomienda realizar una evaluación integral de los impactos ambientales producidos para diseñar medidas de manejo orientadas a corregirlos y mitigarlos.
- ❖ En las lagunas costeras del departamento se evidencia la mayor problemática de contaminación la cual se ha venido incrementando paulatinamente en el tiempo, debido al efecto acumulativo de los vertimientos y a su sinergia con otras actividades como la deforestación de los manglares, llevándolas a una condición pésima para la preservación de la biota acuática. Además de iniciar mediciones de contaminantes en sedimentos y organismos, se recomienda implementar de manera urgente medidas de mitigación y de rehabilitación que permita recuperar los bienes y servicios que prestan estos ecosistemas.
- ❖ En relación a las concentraciones de hidrocarburos del petróleo, la zona costera del departamento de Atlántico, no presenta contaminación en agua, ni en sedimentos.
- ❖ En septiembre de 2016 se obtuvieron concentraciones de Ni y Cr en los sedimentos de la zona del río Magdalena que evidencia un riesgo de efectos probables en los organismos según el valor de referencia de la NOAA. Se recomienda intensificar el monitoreo a nivel espacial con el fin de corroborar si es un resultado puntual o constante y producto de los aportes del río Magdalena.

BOLÍVAR

Ramiro Rueda-Bernal



Playa Blanca, isla Barú, Bolívar. Foto: Jennifer López

EQUIPO TÉCNICO CARDIQUE

Mady Carolina García – Jefe de Oficina Laboratorio
Ildfonso Castro – Profesional Especializado
Adriana González – Profesional Universitario
Manuel Ricardo Hernandez – Profesional Universitario
Carlos Meñaca Guerrero - Profesional Universitario

7. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR

En el departamento de Bolívar, se alberga una de las áreas arrecifales más importantes del Caribe colombiano, ubicada en las Islas del Rosario, además se pueden encontrar extensiones menores de praderas de fanerógamas marinas, playas de arena, y lagunas costeras rodeadas por manglares (Gómez-Cubillos *et al.*, 2015; Mejía *et al.*, 1994). Estos ecosistemas se ven sometidos a tensores provenientes de los residuos generados por una metrópolis, como lo es Cartagena, el turismo, los desechos provenientes de pueblos y sectores aledaños con baja cobertura de saneamiento básico, la agricultura y la explotación de diferentes tipos de industria. Además, en el departamento desemboca el Canal del Dique, un brazo artificial del río Magdalena y que drena en la zona costera de la jurisdicción (Pinilla *et al.*, 2007).

La línea de costa del departamento abarca los municipios de Cartagena y Santa Catalina y presenta diferentes tipos de accidentes geográficos entre los que sobresalen dos bahías, la Bahía de Cartagena y la Bahía de Barbacoas. La Bahía de Cartagena enmarca la capital del departamento de Bolívar, cuenta con una superficie de 82 km² y consta de dos partes, una parte Externa y una Interna; la primera está conectada con el mar Caribe a través de dos bocas (Bocachica y Bocagrande), mientras que la segunda se ubica en la parte norte y no tiene intercomunicación directa con el mar (Tuckovenko y Rondón, 2002; Cañón *et al.*, 2007). Por su parte, la Bahía de Barbacoas tiene una superficie de 120 km² y, al igual que la Bahía de Cartagena, ha adoptado las características de un estuario dado que recibe un gran aporte de aguas continentales del Canal del Dique a través de las bocas Lequerica y Matunilla, que fueron abiertas con el fin de disminuir la carga de sedimentos que llegaba en un principio a la bahía de Cartagena (Gómez *et al.*, 2009).

Con el fin de vigilar la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento y obtener información del estado actual del recurso hídrico para la gestión ambiental, la REDCAM bajo la gestión de la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique – CARDIQUE, realiza desde el año 2001 la evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras. El presente informe contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras en base a los muestreos realizados en el segundo semestre de 2016 y el primer semestre de 2017.

7.1 ZONAS DE MONITOREO

El departamento de Bolívar cuenta con 32 estaciones de monitoreo dispuestas a lo largo de una amplia zona de litoral que se extiende desde la frontera con el departamento de Atlántico, en Galerazamba, hasta punta Barbacoas, ubicada al Sureste y adyacente al departamento de Sucre. Esta extensión se distribuye en cinco zonas principalmente: Costa Norte, Bahía Afuera, Bahía de Cartagena, Bahía de Barbacoas y la zona de Islas que considera las estaciones ubicadas en las islas de Barú y del Rosario (Figura 7.1).

La zona de **Costa Norte** cuenta con cuatro estaciones de muestreo de agua superficial, como lo son: Faro 101 Galerazamba, frente isla Arena, Boca y Punta Canoa (Figura 7.1). La zona **Bahía Afuera**, en la cual se encuentran las estaciones de playas turísticas de Crespo, Marbella, Manzanillo y Bocagrande, y dos estaciones ubicadas cerca de la isla Tierrabomba, la Escollera submarina y Tierrabomba (Figura 7.1).

La zona **Bahía de Cartagena** está conformada por dos bahías, una interna y una externa, la primera se ubica al norte y tiene comunicación con la bahía externa en el sector del Laguito, y la segunda corresponde al área más extensa que se conecta con el mar Caribe a través de dos bocas, una al norte (Bocagrande) y otra al sur (Bocachica), a través de las cuales se realiza el intercambio de aguas. En esta zona se cuenta con 11 estaciones de muestreo correspondientes al Canal del Dique y a la zona industrial de Mamonal, en las cuales se muestrea agua superficial, en dos de las cuales se muestrea sedimento (Figura 7.1).

La zona **Bahía de Barbacoas** se encuentra constituida por 6 estaciones de muestreo en aguas y una (1) de sedimentos. Debido al gran aporte de aguas continentales que recibe del Canal del Dique a través de los caños Lequerica y Matunilla y además de los caños Correa y el arroyo de Plata, las estaciones ubicadas en esta zona corresponden en su mayoría a aguas estuarinas y fluviales.

La zona de las **Islas**, la conforman 5 estaciones de muestreo de aguas ubicadas en las Islas del Rosario y una (1) en la isla de Barú sobre la bahía de Barbacoas (Figura 7.1). La importancia de esta zona es que hace parte de las áreas con formaciones coralinas más importantes del Caribe colombiano ([Alonso et al., 2015](#)).

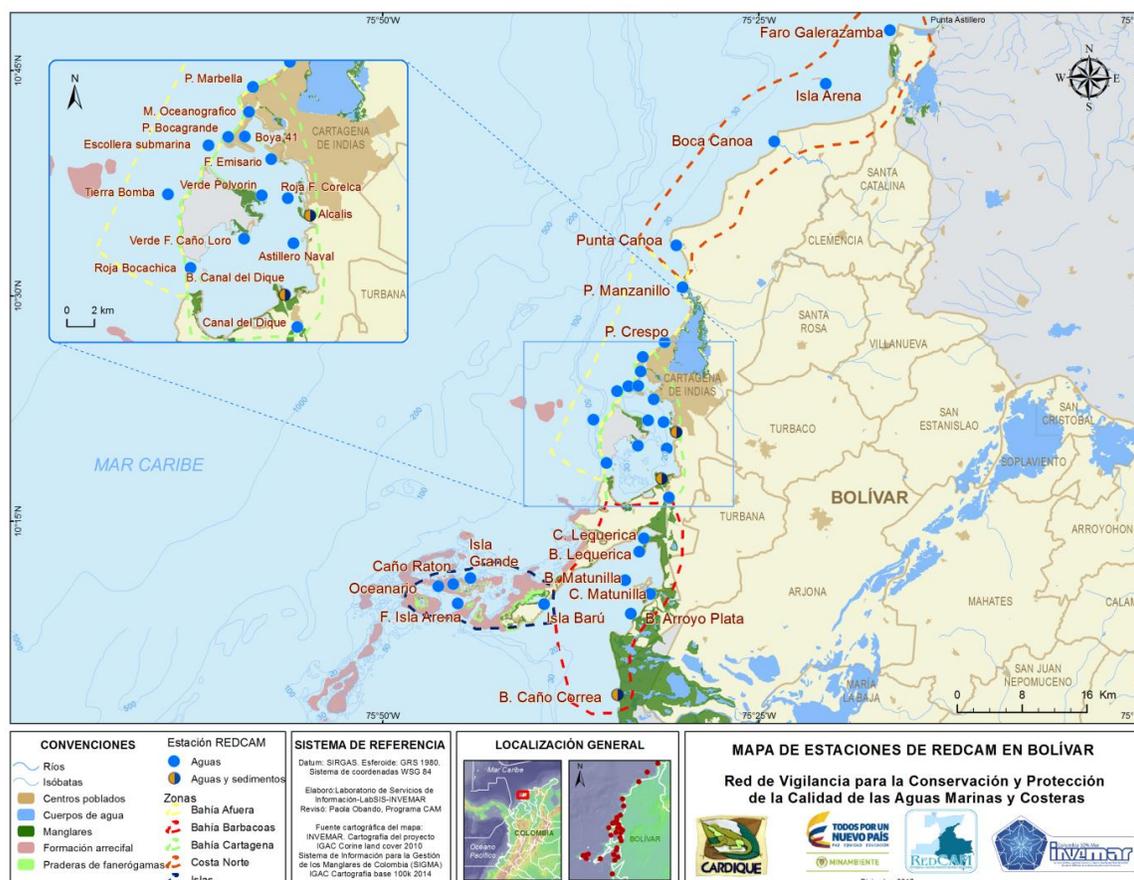


Figura 7.1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos azules y marrón) en el departamento del Bolívar.

Los muestreos fueron realizados por CARDIQUE entre los meses de septiembre-octubre de 2016 y los meses febrero-marzo de 2017. En septiembre de 2016 se registró una precipitación acumulada entre 100 y 150 mm, en octubre de 2016 entre 200 y 300 mm, mientras que en febrero y marzo de 2017 se registraron rangos entre 0 y 50 mm (IDEAM, 2017a).

7.2 CALIDAD DE AGUAS

En el departamento de Bolívar la temperatura del agua osciló entre 26,6 y 33,0 °C (Tabla 7.1), presentándose las temperaturas más bajas durante los meses de febrero y marzo, a causa del enfriamiento generado por el incremento de los vientos Alisios que se produce a comienzos de año (CIOH, 2010). Los valores registrados en el presente informe se encuentran dentro de los rangos históricos de la REDCAM (INVEMAR, 2017a). El valor máximo se reportó en los meses de septiembre-octubre de 2016 en Isla Arena, mientras que el mínimo se presentó en la estación de Faro Galerazamba durante el muestreo de febrero-marzo de 2017.

Tabla 7.1. Temperatura del agua superficial registrada de las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, en septiembre-octubre de 2016 y febrero-marzo de 2017. SD Muestreo sin reporte de datos.

Zona	Estación	septiembre-octubre de 2016	febrero-marzo de 2017
		Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
Costa Norte	Faro Galerazamba	31,3	26,6
	Isla Arena	33,0	27,4
	Boca Canoa	31,0	SD
	Punta Canoa	30,5	29,3
Bahía Afuera	P. Manzanillo	30,8	28,3
	P. Crespo	30,2	29,5
	P. Marbella	30,1	28,6
	P. Bocagrande	30,2	28,6
	Escollera Submarina	30,5	28,9
	Tierrabomba	30,0	28,6
Bahía Cartagena	M. Oceanográfico	29,8	28,3
	Boya 41	30,2	30,2
	F. Emisario	31,0	28,7
	Verde Polvorín	31,6	29,0
	Ácalis	31,3	29,6
	Roja F. Corelca	31,6	29,6
	Verde F. Caño Loro	31,4	29,9
	Roja Bocachica	30,7	29,5
	B. Canal del Dique	30,1	30,8
	Canal del Dique	30,1	30,9
F. Cotecmar	31,4	29,8	
Bahía Barbacoas	C. Lequerica	30,4	31,2
	B. Lequerica	31,5	31,8
	C. Matunilla	30,8	31,2
	B. Matunilla	31,1	31,1
	B. Arroyo Plata	32,2	31,1
	B. Caño Correa	31,8	31,5
Islas	Isla Barú	31,6	28,1
	Isla Grande	31,6	27,5
	Caño Ratón	31,1	27,6

Zona	Estación	septiembre-octubre de 2016	febrero-marzo de 2017
		Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
	Oceanario	32,4	27,5
	F. Isla Arena	31,9	27,9

En la Figura 7.2 se muestran las salinidades registradas en el periodo evaluado. En cuanto a este parámetro, se observó una gran variabilidad entre muestreos y una tendencia generalizada a presentar una mayor salinidad durante el periodo de menores precipitaciones, principalmente debido a la reducción en el ingreso de aguas continentales. La salinidad osciló entre 27,1 y 39,4 en las estaciones de la zona Costa Norte y entre 23,5 y 38,8 en Bahía Afuera, valores que están dentro de los rangos históricos de la REDCAM ([INVEMAR, 2017a](#)) y clasifican como aguas oligohalinas (17-30), marinas mesohalinas (30-34), polihalinas (34-38) y en el caso de las estaciones Punta Canoa y playa de Marbella, salmueras (>38) ([Knox, 2001](#)).

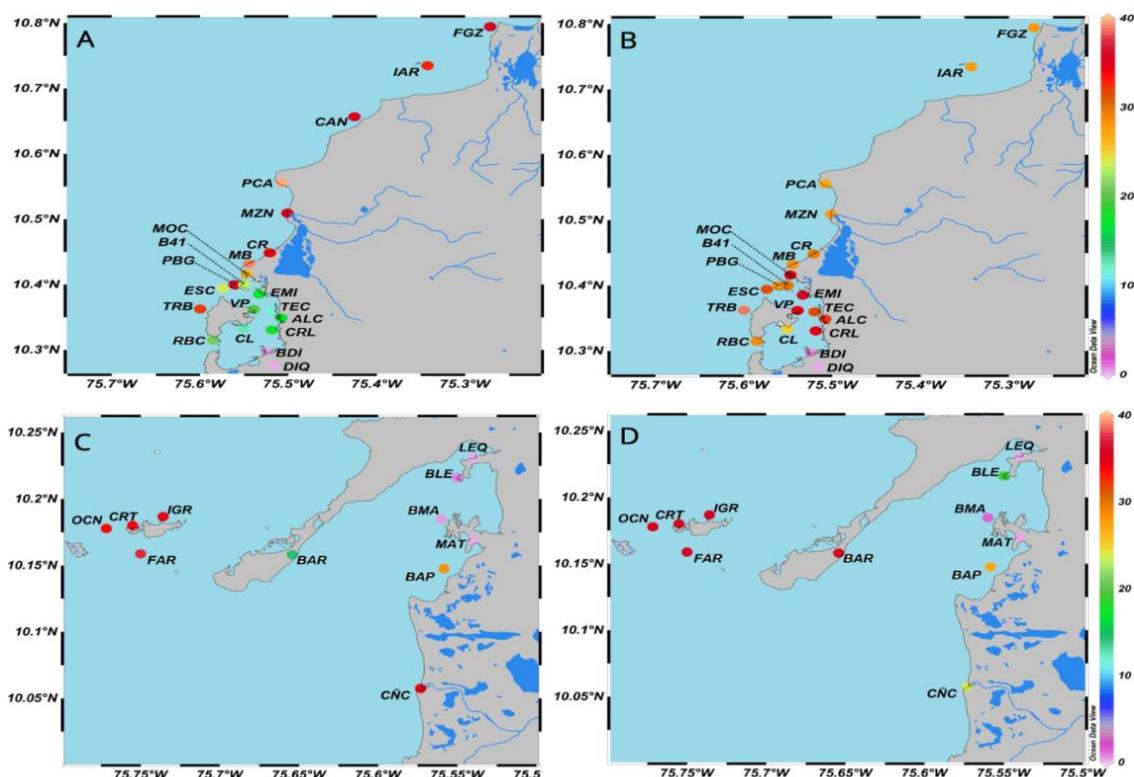


Figura 7.2. Salinidad del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar en estaciones ubicadas en zonas Costa Norte, Bahía Afuera y Bahía de Cartagena A) en septiembre-octubre de 2016 y b) febrero-marzo de 2017; y en estaciones ubicadas en las zonas Barbacoas e Islas del Rosario en c) septiembre-octubre de 2016 y d) febrero-marzo de 2017.. FGZ: Faro Galerazamba, IAR: Isla Arena, CAN: Boca Canoa, PCA: Punta Canoa, MZN: P. Manzanillo, CR: P. Crespo, MB: P. Marbella, MOC: M. Oceanográfico, B41: Boya 41, CRL: Roja F. Corelca, CRT: Caño Ratón, PBG: P. Bocagrande, CL: Verde F. Caño Loro, OCN: Oceanario, EMI: F. Emisario, BDI: B. Canal del Dique, FAR: F. Isla Arena, ESC: Escollera Submarina, DIQ: Canal del Dique, BAR: Isla Barú, VP: Verde Polvorín, RBC: Roja Bocachica, BMA: B. Matunilla, TRB: Tierrabomba, LEQ: C. Lequerica, MAT: C. Matunilla, TEC: F. Cotecmar, BLE: B. Lequerica, BAP: B. Arroyo Plata, ALC: Álcalis, IGR: Isla Grande, CÑC: Caño Correa.

En la zona de la Bahía de Cartagena, la salinidad fluctuó entre 0,06 y 35,7 por la mezcla con aguas dulces provenientes de Canal del Dique que tienen salinidades entre 0 y 3,84 y corresponden a aguas dulces (0-0,5 [Knox, 2001](#)) y estuarinas mesohalinas (3,0-10; [Knox, 2001](#)). Los valores más bajos fueron obtenidos en el muestreo de septiembre-octubre de 2016, lo cual se relaciona con el aumento de las descargas del Canal del Dique y los aportes por escorrentía urbana que introducen una capa de agua dulce superficial en la época de lluvias ([Troncoso et al., 2009](#)). En la Bahía Barbacoas, la salinidad osciló entre 0,06 y 34,3 en septiembre-octubre de 2016 y entre 0,06 y 26,9 en febrero-marzo de 2017 (Figura 7.2). Al igual que en años anteriores, la estación desembocadura de caño Correa (34,3) presentó la salinidad más alta de la zona, principalmente debido a que esta estación se encuentra ubicada en la parte más expuesta de la bahía lo cual disminuye la influencia de la descarga de otros afluentes ubicados al norte, como el arroyo Plata y los caños Matunilla y Lequerica ([INVEMAR, 2017d](#)). En la zona de Islas, la salinidad registrada osciló entre 13,9 y 36,7, el valor más bajo, corresponde a Isla Barú en el muestreo de septiembre-octubre de 2016. En el muestreo de 2017 se evidenció un aumento significativo de la salinidad (35,6), debido a la posible reducción de la influencia de aguas continentales de la bahía Barbacoas durante la época seca ([Gómez et al., 2009](#)).

Durante los dos muestreos el oxígeno disuelto (OD) en el departamento de Bolívar osciló entre 5,67 y 9,49 mg O₂/L, valores que se encuentran por encima del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces, marinas y estuarinas de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984 (4 mg O₂/L; [MinSalud, 1984](#); Figura 7.3). Sin embargo, es importante remarcar que las estaciones Verde Polvorín (9,0 mg de O₂/L; 118% de saturación), Isla Barú (9,05 mg de O₂/L; 123,7% de saturación) y B. Lequerica (9,49 mg de O₂/L; 129,60 % de saturación) presentaron valores altos de OD y porcentajes de saturación superiores a 100% (Figura 7.3), lo cual se encuentra asociado a una alta productividad primaria, dada por la disponibilidad de nutrientes inorgánicos disueltos para el fitoplancton ([INVEMAR, 2017d](#)) y puede llegar a producir cambios en el comportamiento, reducción en tasas de crecimiento, fecundidad y supervivencia de invertebrados y peces ([Ladies y Fernández, 2002](#); [Trowbridge et al., 2017](#)).

En la Figura 7.4 se observan los promedios históricos de OD que se han registrado en las zonas de muestreo de la REDCAM del departamento de Bolívar. A excepción de la zona de Bahía Barbacoas, en el año 2011, período que se caracterizó por presentar excesos de lluvia a causa de la ocurrencia de un fenómeno de La Niña moderado, históricamente las concentraciones de oxígeno disuelto han estado por encima del valor permisible para la preservación de flora y fauna (>4 mg de O₂/L; Minsalud, 1984). Sin embargo, se debe resaltar que durante el primer semestre del año 2001, en las zonas de Islas y Bahía de Barbacoas, las concentraciones de oxígeno disuelto han superado los 10.0 mg de O₂/L, indicando una sobresaturación de oxígeno en el agua que representa una amenaza para la fauna ([Manahan, 2007](#)).

Por otra parte, en el transcurso del 2010, en la Bahía de Cartagena, la Bahía Barbacoas y la zona de Bahía Afuera, se registraron marcados descensos de la concentración de oxígeno disuelto causados por la consolidación de un evento La Niña fuerte, que produjo el aumento en las lluvias, generando un incremento en el aporte de aguas continentales, vertimientos y tributarios. Así mismo, en el 2015 se registró una alta variación en el OD en las aguas superficiales de todas las zonas del departamento, la cual en su mayoría fue ascendente y se debió principalmente al

comportamiento pluviométrico deficitario causado por la ocurrencia de uno de los eventos de El Niño más fuertes de los últimos años ([GGweather, 2018](#)).

Durante los primeros meses del 2016 se reportó una disminución de la concentración de oxígeno disuelto en las zonas Bahía de Cartagena y Bahía Afuera, la cual puede haber sido influenciada por el aumento en la temperatura, que en las regiones costeras alcanzó los registros más altos de los últimos 135 años ([IDEAM, 2016b](#)), este aumento de temperatura disminuye la capacidad de disolución de gases como el oxígeno ([Massol-Deyá, 2002](#))

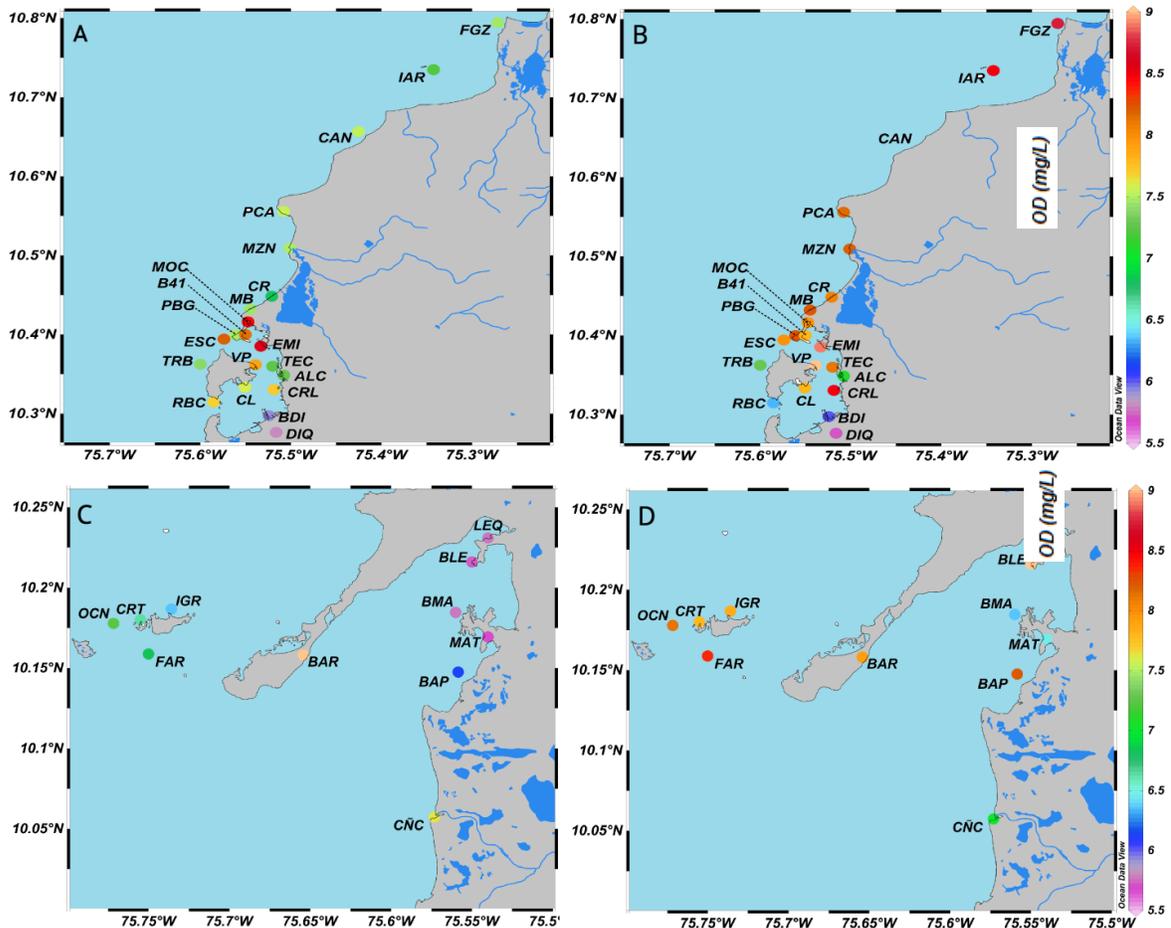


Figura 7.3. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial en estaciones ubicadas en zonas Costa Norte, Bahía Afuera y Bahía de Cartagena A) en septiembre-octubre de 2016 y b) febrero-marzo de 2017; y en estaciones ubicadas en las zonas Barbacoas e Islas del Rosario en c) septiembre-octubre de 2016 y d) febrero-marzo de 2017. FGZ: Faro Galerazamba, IAR: Isla Arena, CAN: Boca Canoa, PCA: Punta Canoa, MZN: P. Manzanillo, CR: P. Crespo, MB: P. Marbella, MOC: M. Oceanográfico, B41: Boya 41, CRL: Roja F. Corelca, CRT: Caño Ratón, PBG: P. Bocagrande, CL: Verde F. Caño Loro, OCN: Oceanario, EMI: F. Emisario, BDI: B. Canal del Dique, FAR: F. Isla Arena, ESC: Escollera Submarina, DIQ: Canal del Dique, BAR: Isla Barú, VP: Verde Polvorín, RBC: Roja Bocachica, BMA: B. Matunilla, TRB: Tierrabomba, LEQ: C. Lequerica, MAT: C. Matunilla, TEC: F. Cotecmar, BLE: B. Lequerica, BAP: B. Arroyo Plata, ALC: Álcalis, IGR: Isla Grande, CÑC: Caño Correa.

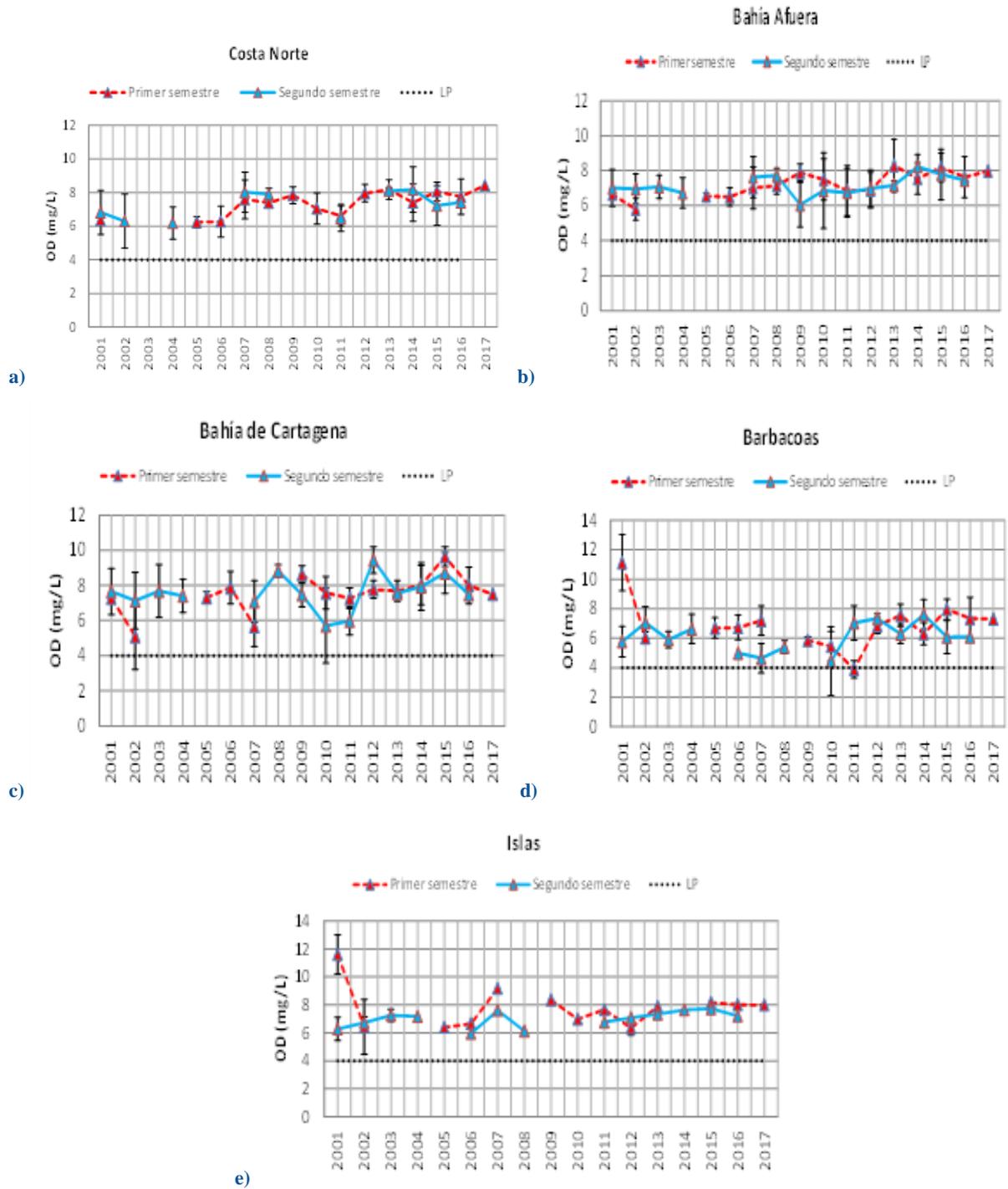


Figura 7.4. Promedios de oxígeno disuelto en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Bolívar, en el primer semestre y segundo semestre de los años entre 2001 y 2017. La línea negra punteada en 4,0 mg de O₂/L indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

En todas las estaciones monitoreadas el pH se encontró dentro de los rangos óptimos según el criterio de calidad para aguas cálidas marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; [MinSalud, 1984](#)). El valor más alto se presentó durante el muestreo de septiembre-octubre de 2016 en la zona de Islas (8,53), mientras que los más bajos se registraron en los caños ubicados en la zona de Bahía Barbacoas (7,04 y 8,31) (Figura 7.5). Estos valores estuvieron dentro de los rangos históricos de la REDCAM ([INVEMAR, 2017a](#)).

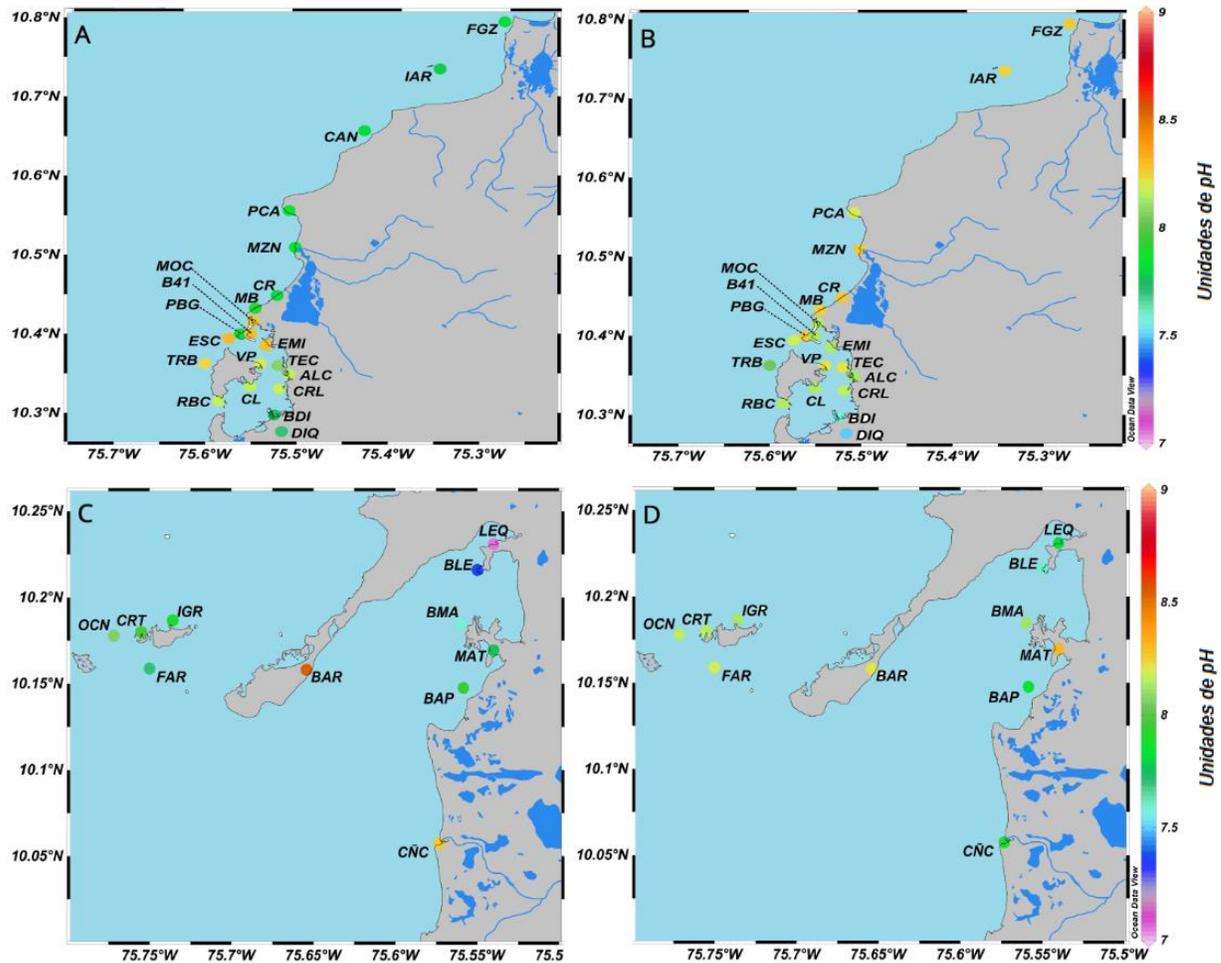


Figura 7.5. Valores de pH del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Bolívar en estaciones ubicadas en zonas Costa Norte, Bahía Afuera y Bahía de Cartagena A) en septiembre-octubre de 2016 y b) febrero-marzo de 2017; y en estaciones ubicadas en las zonas Barbacoas e Islas del Rosario en c) septiembre-octubre de 2016 y d) febrero-marzo de 2017. FGZ: Faro Galerazamba, IAR: Isla Arena, CAN: Boca Canoa, PCA: Punta Canoa, MZN: P. Manzanillo, CR: P. Crespo, MB: P. Marbella, MOC: M. Oceanográfico, B41: Boya 41, CRL: Roja F. Corelca, CRT: Caño Ratón, PBG: P. Bocagrande, CL: Verde F. Caño Loro, OCN: Oceanario, EMI: F. Emisario, BDI: B. Canal del Dique, FAR: F. Isla Arena, ESC: Escollera Submarina, DIQ: Canal del Dique, BAR: Isla Barú, VP: Verde Polvorín, RBC: Roja Bocachica, BMA: B. Matunilla, TRB: Tierrabomba, LEQ: C. Lequerica, MAT: C. Matunilla, TEC: F. Cotecmar, BLE: B. Lequerica, BAP: B. Arroyo Plata, ALC: Álcalis, IGR: Isla Grande, CÑC: Caño Correa.

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 4,9 y 304,5 mg de SST/L (Figura 7.6). En las estaciones del Canal del Dique y las estaciones ubicadas en sus brazos Lequerica y Matunilla, se registraron las mayores concentraciones de SST, lo cual se relaciona con los aportes de limos, arena, minerales de arcilla y materia orgánica que llegan al Canal del Dique por escorrentías y que son transportados hacia las bahías de Barbacoas y Cartagena (Pinilla *et al.*, 2007). Los sólidos suspendidos pueden facilitar el transporte de nutrientes y algunos contaminantes tales como pesticidas y metales, por medio de la formación de complejos con otras moléculas orgánicas, convirtiéndose en medio de transporte de contaminantes provenientes de las áreas agrícolas ubicadas en las riberas del canal (Montoya, 2010). Por otra parte, el aumento de materiales en suspensión, disminuye la cantidad de luz incidente, disminuyendo la productividad primaria de los ecosistemas marincosteros (Manahan, 2007; Fabricius, 2005), además, representa una amenaza para la salud de los arrecifes (Vélez-Agudelo y Aguirre-Ramírez, 2016). Sin embargo, se resaltan los bajos valores obtenidos en la estación de Roja Bocachica durante el segundo semestre de 2016 y primer 2017, que muestran una buena calidad del agua y procuran la preservación de la zona arrecifal de Varadero.

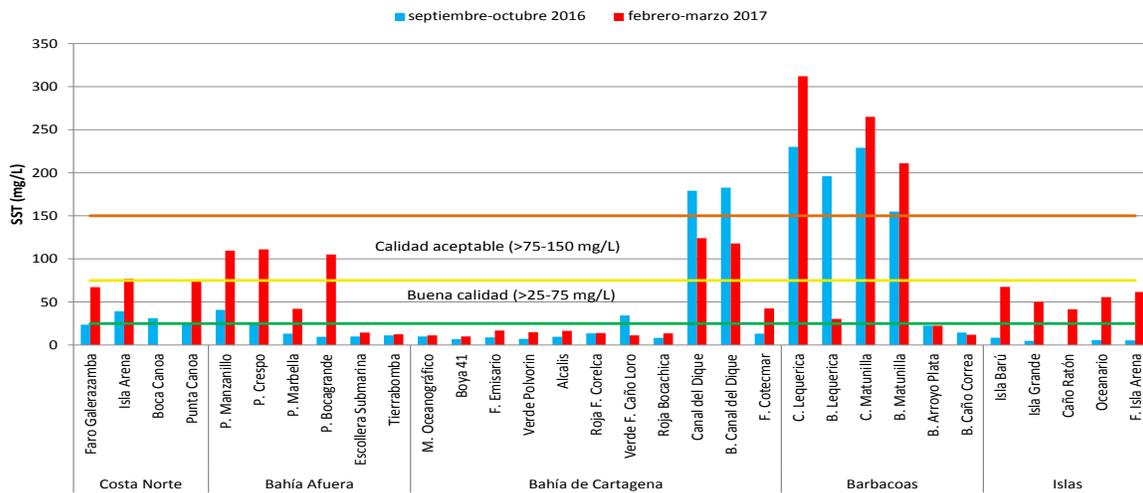


Figura 7.6. Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, en los muestreos de septiembre-octubre de 2016 y febrero-marzo de 2017. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015). Los valores dentro del rango $>25 \leq 75$ mg/L (línea verde) indican una buena calidad, los valores entre el rango $>75 < 150$ mg/L (línea amarilla) indican calidades aceptables y los valores entre 150 y 400 mg/L (línea naranja) indican que existen aguas contaminadas.

En la Figura 7.7 se presentan los nutrientes inorgánicos disueltos (nitritos: $N-NO_2^-/L$, nitratos: $N-NO_3^-/L$ y ortofosfatos: $P-PO_4^{3-}/L$) medidos en las estaciones del departamento de Bolívar en los muestreos de septiembre-octubre de 2016 y febrero-marzo de 2017. Es importante mencionar que en algunas gráficas hay valores faltantes que corresponden a mediciones que se encontraron por debajo del límite cuantificación. La evaluación de estos nutrientes cobra importancia, debido a que el exceso de nutrientes puede causar eutrofización y un deterioro acelerado de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos, principalmente en estuarios y zonas de manglar.

Durante el muestreo realizado en septiembre-octubre de 2016, las concentraciones de nitritos del 53% de las estaciones, estuvo por debajo del límite de cuantificación; y en el muestreo de febrero-marzo de 2017, este porcentaje correspondió al 44%. La concentración más baja ($0,023 \mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$) se gistró en la estación de playa Crespo, perteneciente a la zona Bahía Afuera. Las concentraciones más altas en el departamento se registraron en la zona Barbacoas, los caños Lequerica y Matunilla ($0,034$ y $0,032 \mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$, respectivamente), manteniendo la tendencia histórica registrada en la REDCAM; Estas altas concentraciones reportadas en los caños son producto principal del vertimiento directo de desechos domésticos dado por la baja cobertura de saneamiento básico con la que cuentan algunas poblaciones asociadas a las cuencas de estas afluentes ([Garcés-Ordóñez, 2016](#)).

Las concentraciones más altas de nitratos, en el departamento de Bolívar ($2.455 \mu\text{g/L}$), se registraron en Tierrabomba, zona de Bahía Afuera, durante el muestreo de septiembre-octubre de 2016. En la estación playa Bocagrande, de la misma zona, se hallaron concentraciones de $0,019 \mu\text{g/L}$, las más bajas cuantificables de Bolívar. Como observación general, en las estaciones directamente relacionadas con las descargas de aguas continentales, como lo son las desembocaduras de caños y ríos, se detectó una tendencia de mayor acumulación de nitratos durante el periodo de septiembre-octubre de 2016, lo cual se atribuye al incremento en el aporte de estos afluentes durante la época de lluvias.

Los ortofosfatos se encontraron dentro de un rango reducido cuyo valor más alto fue de $800 \mu\text{g/L}$, en caño Ratón (Islas) y los más bajos fueron de $400 \mu\text{g/L}$ en las estaciones de Verde Polvorín, Verde frente caño Loro, Roja Bocachica y el Muelle Oceanográfico. Estas concentraciones muestran la influencia de algunos vertimientos de aguas residuales en la zona de Islas del Rosario y la Bahía de Cartagena, sin embargo, la presencia de nitritos, nitratos y ortofosfatos, sumada a los altos niveles de SST, están relacionada con la descarga de aguas continentales provenientes de las ciénagas de La Virgen y Juan Polo, en el caso de las playas Manzanillo y Crespo, y de la bahía de Cartagena sobre la Escollera y Tierrabomba, ya que estos cuerpos contienen una alta cantidad de material orgánico en descomposición ([Camargo y Alonso, 2006](#)).

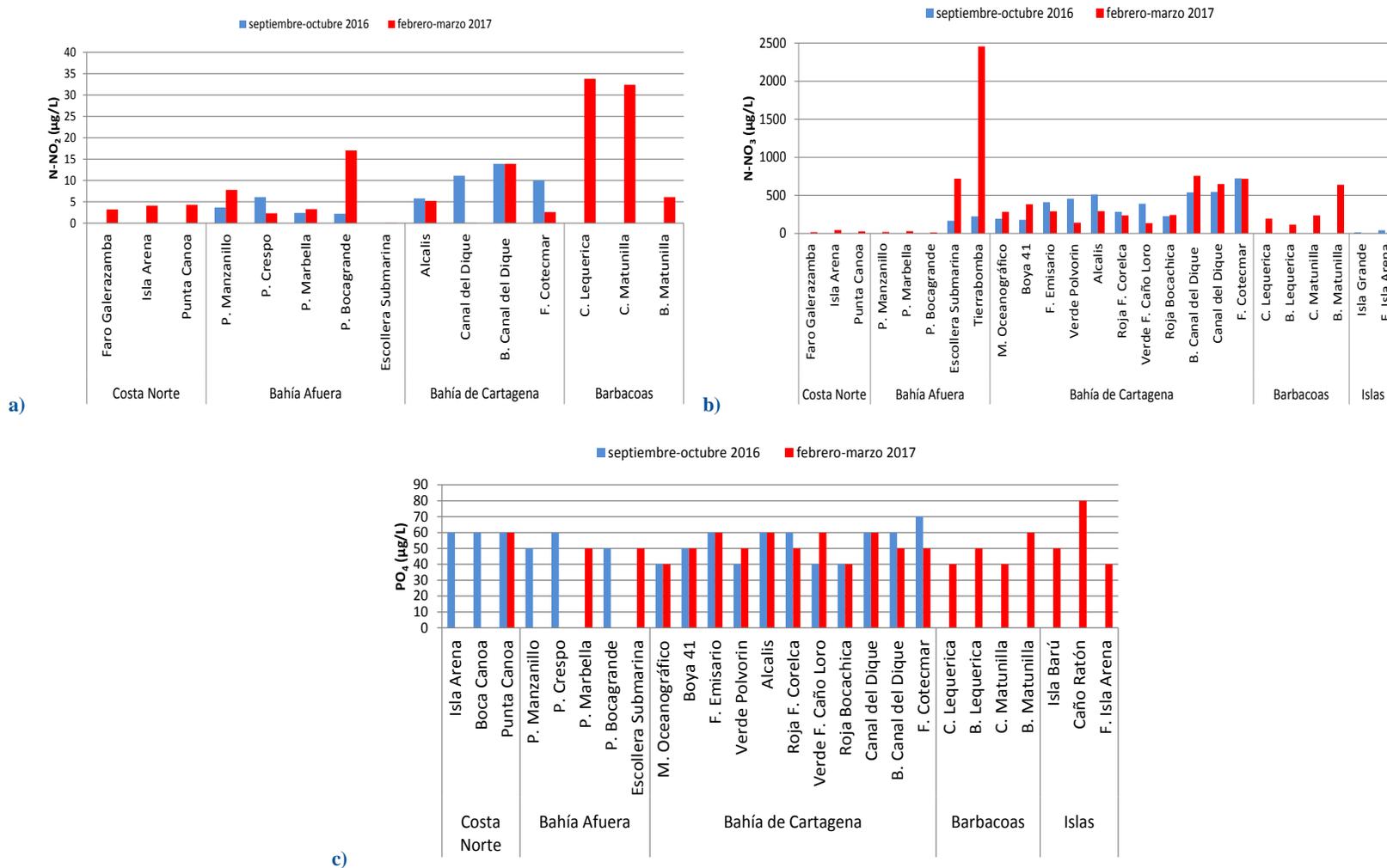


Figura 7.7. Concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos: a) nitritos (N-NO₂), b) nitratos (N-NO₃) y c) ortofosfatos (P-PO₄³⁻), en el agua superficial de las estaciones de muestreo REDCAM del departamento de Bolívar, septiembre-octubre de 2016 y febrero-marzo de 2017.

En la Costa Norte, tanto los valores de coliformes Totales (CTT), como los de Coliformes Termotolerantes (CTE) (Tabla 7.2), indican que en los dos muestreos las aguas fueron aptas para actividades recreativas de contacto primario (natación y buceo), según la normativa colombiana ([MinSalud, 1984](#)). De igual manera, la calidad sanitaria de las playas Manzanillo, Crespo, Marbella y Bocagrande, ubicadas en Bahía Afuera, fue adecuada durante los dos muestreos, ya que las concentraciones de CTE estuvieron por debajo de límite máximo permisible para el uso recreativo y por ende, no representan riesgo para los usuarios (<200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)).

Tabla 7.2. Concentraciones de coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Bolívar, medidos en los muestreos de septiembre-octubre de 2016 y febrero-marzo de 2017. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de MinSalud (1984).

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		sept-oct 2016	feb-mar 2017	Rango Histórico	Percentil 90	sept-oct 2016	feb-mar 2017	Rango Histórico	Percentil 90
Costa Norte	Faro Galerazamba	<1,8	2,0	<1,8-520.000	209.620	<1,8	2,0	<1,8-18.000	9.085
	Isla Arena	11,0	2,0	2-380.000	152.144	11,0	2,0	2,0-26.000	10.427
	Boca Canoa	<1,8		<1,8-170.000	102.172			1,8-7.500	4.509
	Punta Canoa	4,5	<1,8	<1,8-23.000	18.498	4,5	<1,8	<1,8-3.100	2.839
Bahía Afuera	P. Manzanillo	<1,8	<1,8	<1,8-1.200.000	1.080.043	<1,8	<1,8	<1,8-4.000	3.609
	P. Crespo	110	<1,8	<1,8-580.000	116.320	110	<1,8	<1,8-11.000	3.419
	P. Marbella	17,0	<1,8	<1,8-6.300	1.652	6,8	<1,8	<1,8-1.000	461
	P. Bocagrande	33,0	110	3-300.000	60.763	23	110,0	2,0-34.000	3.841
	Escollera Submarina	6,1	<1,8	<1,8-1.700	1.052	4,0	<1,8	<1,8-1.200	482
	Tierrabomba	2,0	<1,8	<1,8-1.300	780	<1,8	<1,8	<1,8-1.300	551
Bahía de Cartagena	M. Oceanográfico	140	780	4,5-2.700	2.580	<1,8	<1,8	<1,8-2.400	1.910
	Boya 41	45	2.700	1,8-17.000	6.480	20	<1,8	<1,8-7.500	2.190
	F. Emisario	2.300	<1,8	<1,8-240.000	8.200	1300	<1,8	<1,8-240.000	5.080
	Verde Polvorín	780	33	<1,8-2.400	1.280	45	2,0	2,0-1.300	1.100
	Álcalis	3.300	6,8	2-360.000	118.800	<1,8	<1,8	<1,8-92.000	43.700
	Roja F. Corelca	200	2,0	6,8-14.000	3.280	200	<1,8	<1,8-9.400	2.400
	Verde F. Caño Loro	450	2.300	4-350.000	1.940	20	<1,8	<1,8-4.500	940
	Roja Bocachica	330	2.300	6,8-4.500	1.700	110	<1,8	<1,8-1.300	908
	B. Canal del Dique	230.000	4.500	28-2.400.000	398.000	45.000	<1,8	<1,8-490.000	210.000
Canal del Dique	230.000	450	170-230.000	16.600	13.000	200	3,0-22.000	10.400	
Barbacoas	C. Lequerica	1.300	1.100	29-130.000	24.000	1.300	<1,8	<1,8-24.000	15.400
	B. Lequerica	130.000	13.000	23-130.000	28.500	1.300	400	<1,8-24.000	1.580
	C. Matunilla	7.800	1.700	230-790.000	170.000	<1,8	1100	<1,8-330.000	75.600
	B. Matunilla	45.000	1.100	43-240.000	38.000	45.000	450	3,0-45.000	5.540
	B. Arroyo Plata	<1,8	1.300	<1,8-2.300	430	<1,8	1300	<1,8-1.300	1.092
	B. Caño Correa	2	2.300	2-18.000	5.300	2,0	450	2,0-4.600	450
Islas	Isla Barú	23	18.000	3,0-24.000	3.940	4,5	<1,8	<1,8-240	94
	Isla Grande	<1,8	110	<1,8-4.900	1.300	<1,8	68,0	<1,8-1.300	400
	Caño Ratón	<1,8	450	<1,8-160.000	10.130	<1,8	200	<1,8-4.900	1.140
	Oceanario	17,0	2.300	3,0-160.000	33.000	17,0	780	3,0-13.000	1.100
	F. Isla Arena	<1,8	130	<1,8-160.000	32.192	<1,8	<1,8	<1,8-2.700	572
Límite permisible contacto primario		1.000				200			
Límite permisible contacto secundario		5000				-			

En la Bahía de Cartagena, las concentraciones más altas de CTT y CTE se presentaron en septiembre-octubre de 2016, en las estaciones Canal del Dique (CTT: 230.000 NMP/100 mL y CTE: 13.000 NMP/100 mL) y desembocadura del Canal del Dique (CTT: 230.000 NMP/100

mL y CTE: 45.000 NMP/100 mL). Estaciones, como frente a Emisario, Álcalis), Bahía Barbacoas, caños Lequerica y Matunilla y sus respectivas desembocaduras, también presentaron concentraciones de CTT que sobrepasaron los límites recomendados por la normativa colombiana (Tabla 7.2), durante el periodo de septiembre-octubre de 2016. Lo anterior se asocia al incremento en el caudal del Canal del Dique durante la época de mayores precipitaciones que favorece la introducción de una alta carga de contaminantes fecales, que pueden estar acompañados de organismos patógenos ([INVEMAR, 2017d](#)).

En las islas, los valores más altos de CTT se presentaron durante el periodo febrero-marzo de 2017 en Isla Barú (18.000 NMP/100 mL), mientras que la estación de Oceanario, durante el mismo periodo, exhibió las mayores concentraciones de CTE (110 NMP/100 mL), valores que sobrepasan ampliamente los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y secundario establecidos por Min Salud ([1984](#)) y se asocian principalmente a la limitada cobertura de alcantarillado con la que cuenta la zona ([REDCAM, 2017d](#)). Teniendo en cuenta de que islas del Rosario es una de las zonas más visitadas por buzos, bañistas y turistas en el departamento de Bolívar, se recomienda a las autoridades ambientales prestar especial atención a estos resultados con el fin de mejorar la gestión, explotación y conservación del recurso hídrico.

En la Tabla 7.3 se muestran las concentraciones de metales pesados totales en aguas superficiales, en los muestreos de septiembre-octubre de 2016 y febrero-marzo de 2017. En el 57% de las estaciones, las concentraciones de cobre (Cu), estuvieron por debajo del límite de cuantificación (<0,020 mg/L) en septiembre-octubre de 2016; y en el 90 % en febrero-marzo de 2017. Las concentraciones máximas de Cu se registraron en la estación de Boca Canoa (0,032 mg/L), en la zona de Costa Norte, superando ampliamente los valores de referencia para efectos crónicos en agua marina (0,0031 mg/L; [Buchman, 2008](#)). Así mismo, durante el muestreo de septiembre-octubre de 2016, en la Bahía de Cartagena el 36% de los reportes excedieron los valores de referencia.

En el 91% de las estaciones del departamento, en el muestreo realizado en el año 2016, se registraron concentraciones plomo (Pb), por encima de los valores de referencia para efectos crónicos ([Buchman, 2008](#)). En el muestreo realizado en febrero-marzo de 2017, los niveles bajaron, no obstante el 34% de las estaciones continuaron presentando valores superiores a las referencias; este resultado se relaciona con las actividades de las industrias químicas y metalúrgicas que se desarrollan en el sector del Mamonal ([INVEMAR, 2017d](#))

El cromo (Cr), en la Bahía de Cartagena, sobrepasó los niveles de referencia para efectos crónicos en aguas marinas y fluviales ([Buchman, 2008](#)), particularmente en las estaciones de Álcalis, Roja F. Corelca, Canal del Dique y F. Cotecmar, donde las concentraciones sobrepasaron los niveles de referencia durante los dos muestreos. Adicionalmente, en estas mismas estaciones, las concentraciones de níquel (Ni) sobrepasaron los valores de referencia para efectos crónicos en aguas marinas y dulceacuícolas ([Buchman, 2008](#)) en el muestreo de febrero-marzo de 2017. La presencia de estos contaminantes se puede atribuir al tráfico constante de embarcaciones que utilizan combustibles fósiles ([Calva y Torres, 2008](#)), las descargas de ríos y cuerpos de aguas dulce y, en la Bahía de Cartagena especialmente, a la dinámica del Canal del Dique.

Tabla 7.3 Metales pesados totales en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar. Los valores de referencia corresponden a Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) y el valor con dos asteriscos (*) corresponde a la referencia para cromo (CONAMA, 2005). SD sin dato.**

Zona	Estación	septiembre-octubre de 2016					febrero-marzo de 2017				
		Cu mg/L	Cr mg/L	Pb µg/L	Zn mg/L	Ni mg/L	Cu mg/L	Cr mg/L	Pb µg/L	Zn mg/L	Ni mg/L
Costa Norte	Faro Galerazamba	0,026	<0,025	132	<0,01	<0,025	0,026	<0,025	<2,3	<0,01	<0,025
	Isla Arena	0,025	<0,025	137	<0,01	<0,025	0,025	<0,025	<2,3	<0,01	<0,025
	Boca Canoa	0,032	<0,025	142	<0,01	0,050	SD	SD	SD	SD	SD
	Punta Canoa	<0,020	<0,025	122	<0,01	<0,025	<0,020	<0,025	<2,3	<0,01	<0,025
Bahía Afuera	P. Manzanillo	0,025	<0,025	131	<0,01	0,030	0,025	<0,025	<2,3	<0,01	<0,025
	P. Crespo	<0,020	<0,025	124	<0,01	0,027	<0,020	<0,025	8	<0,01	<0,025
	P. Marbella	<0,020	<0,025	127	<0,01	0,029	<0,020	<0,025	6	<0,01	<0,025
	P. Bocagrande	<0,020	<0,025	80	<0,01	0,030	<0,020	<0,025	3	<0,01	<0,025
	Escollera Submarina	<0,020	0,105	86	<0,01	<0,025	<0,020	0,080	<2,3	0,012	0,035
	Tierrabomba	<0,020	<0,025	92	<0,01	<0,025	<0,020	0,109	<2,3	0,014	0,036
Bahía Cartagena	M. Oceanográfico	0,021	0,037	81	<0,01	<0,025	<0,020	0,100	<2,3	<0,01	0,050
	Boya 41	0,020	<0,025	103	<0,01	<0,025	<0,020	0,081	<2,3	<0,01	0,098
	F. Emisario	<0,020	<0,025	27	<0,01	<0,025	<0,020	0,093	<2,3	<0,01	0,056
	Verde Polvorin	<0,020	<0,025	24	<0,01	<0,025	<0,020	0,111	<2,3	0,011	0,059
	Alcalis	<0,020	0,088	44	<0,01	<0,025	<0,020	0,135	<2,3	<0,01	0,058
	Roja F. Corelca	0,025	0,060	110	<0,01	<0,025	<0,020	0,116	<2,3	<0,01	0,062
	Verde F. Caño Loro	<0,020	<0,025	93	<0,01	0,028	<0,020	0,086	<2,3	0,011	0,039
	Roja Bocachica	<0,020	<0,025	33	<0,01	<0,025	<0,020	0,065	<2,3	<0,01	0,038
	B. Canal del Dique	0,021	0,043	<2,3	0,020	<0,025	<0,020	0,180	<2,3	0,011	0,067
	Canal del Dique	<0,020	0,106	<2,3	0,020	<0,025	<0,020	0,202	<2,3	0,018	0,064
F. Cotecmar	<0,020	0,169	<2,3	<0,01	<0,025	<0,020	0,141	<2,3	0,013	0,063	
Bahía Barbacoas	C. Lequerica	0,024	<0,025	40	0,020	<0,025	<0,020	<0,025	91	<0,01	<0,025
	B. Lequerica	0,021	<0,025	30	0,020	<0,025	<0,020	<0,025	65	<0,01	<0,025
	C. Matunilla	0,022	<0,025	40	0,020	<0,025	<0,020	<0,025	97	<0,01	<0,025
	B. Matunilla	0,026	<0,025	40	0,020	<0,025	<0,020	0,232	61	<0,01	<0,025
	B. Arroyo Plata	0,020	<0,025	60	<0,01	<0,025	<0,020	<0,025	65	<0,01	<0,025
	B. Caño Correa	<0,020	<0,025	70	<0,01	<0,025	<0,020	<0,025	54	<0,01	<0,025
Islas	Isla Barú	0,021	<0,025	50	<0,01	<0,025	<0,020	<0,025	120	<0,01	<0,025
	Isla Grande	0,023	<0,025	117	<0,01	<0,025	<0,020	<0,025	73	<0,01	<0,025
	Caño Ratón	0,024	<0,025	103	<0,01	<0,025	<0,020	<0,025	83	<0,01	<0,025
	Oceanario	0,025	0,060	121	<0,01	0,031	<0,020	<0,025	72	<0,01	<0,025
	F. Isla Arena	0,026	0,050	111	<0,01	0,030	<0,020	<0,025	79	<0,01	<0,025
Referencia Efectos crónicos agua marina		0,0031	0,05**	8,1	0,0081	0,0082	0,0031	0,05**	8,1	0,0081	0,0082
Referencia efectos crónicos agua dulce		0,009	0,05**	2,5	0,12	0,052	0,009	0,05**	2,5	0,12	0,052

7.2.1 Calidad del agua de acuerdo con el ICAM_{PFF}

La calidad del agua marino-costera en el departamento de Bolívar evaluada a partir del cálculo del ICAM_{PFF} entre el muestreo de septiembre-octubre de 2016 y febrero-marzo de 2017, se encontró entre las categorías óptima e inadecuada para la preservación de la flora y fauna marina (Figura 7.8). Durante el muestreo de septiembre-octubre de 2016 el 18% de las estaciones se encontraron en óptimas condiciones, el 25% en condiciones adecuadas, el 39% en condiciones aceptables y el 18% se registraron dentro de la categoría inadecuada. En el muestreo de febrero-marzo de 2017, la calidad del agua desmejoró, durante este periodo se presentó tan solo un 2%

de las estaciones en óptimas condiciones, 40% en calidad adecuada, 40% en condiciones aceptables y 18% dentro de la categoría inadecuada.

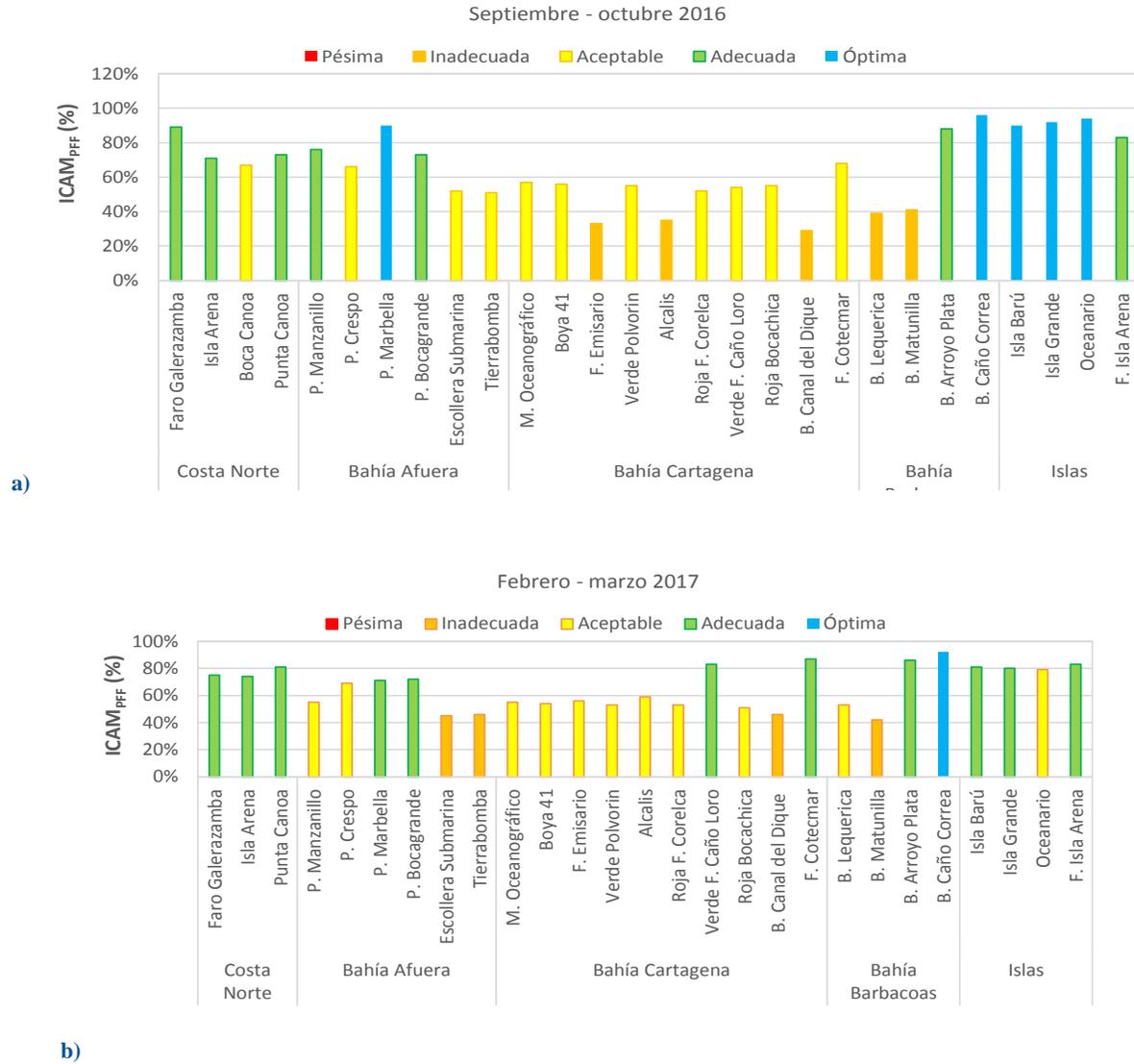


Figura 7.8 Calidad de las aguas en las estaciones marinas y estuarinas de la REDCAM en el departamento de Bolívar en los muestreos de septiembre-octubre de 2016 (a) y febrero-marzo de 2017 (b), evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

En la estación desembocadura del caño Matunilla, perteneciente a la zona de Barbacoas, la calidad del agua fue inadecuada durante ambos muestreos (Figura 7.8), debido a niveles altos de nitratos, de sólidos suspendidos totales y de CTE (450.000 NMP/100 mL en septiembre-octubre 2016 y 450 NMP/100 mL en febrero-marzo de 2017), los cuales sobrepasaron ampliamente los límites recomendados por la normativa colombiana (200 NMP/100 mL). Así mismo, en el muestreo de septiembre-octubre de 2016, en la zona de la Bahía de Cartagena las estaciones Alcalis, desembocadura de Canal del Dique y frente a Emisario, se encontraron en condiciones inadecuadas (Figura 7.8a), debido a los altos niveles de ortofosfatos y CTT

provocados por el aumento en las descargas fluviales y el aporte hídrico proveniente de ríos, caños y escorrentías asociadas a vertimientos de aguas residuales.

Se resalta la calidad del agua que se presentó en la zona de Islas, pues durante el segundo semestre del 2016, el 75% de sus estaciones se encontraron en óptimas condiciones (Figura 7.8a), y aunque en los meses de febrero-marzo de 2017 los resultados fueron menos favorables, las condiciones fueron adecuadas y aceptables para la preservación de fauna y flora (Figura 7.8b).

Como se puede observar en la Tabla 7.4, entre los años 2013 y 2016, se ha evidenciado que en las zonas de muestreo los rangos de calidad aceptable y adecuada de las aguas marinas y costeras han sido predominantes sobre las demás categorías. Sin embargo, es importante mencionar que en el año 2016 se dio un aumento en la proporción de estaciones en óptimas condiciones de tal forma que en tres de las cinco zonas de estudio se presentaron estaciones dentro de esta categoría.

Tabla 7.4 Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PF} en el las zonas del departamento de Bolívar en el periodo desde el 2013 al 2016.

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptimo
2013	Bahía Afuera	23%		8%	69%	
	Bahía de Cartagena	4%	4%	26%	57%	9%
	Barbacoas		10%	30%	50%	10%
	Costa Norte	13%	63%	25%		
	Islas		25%	13%	62%	
2014	Bahía Afuera		17%	8%	75%	
	Bahía de Cartagena		35		55%	10%
	Barbacoas	10%	20%	30%	10%	30%
	Costa Norte		13%	11%	75%	
	Islas		25%		75%	
2015	Bahía Afuera			42%	58%	
	Bahía de Cartagena		30%		70%	
	Barbacoas		20%	10%	50%	20%
	Costa Norte		13%	57%	29%	
	Islas			12%	88%	
2016	Bahía Afuera		8%	25%	59%	8
	Bahía de Cartagena	5%	30%	30%	25%	10%
	Barbacoas			60%	40%	
	Costa Norte			25%	75%	
	Islas			13%	50%	38%

7.3 CALIDAD DE SEDIMENTOS

Los metales pesados totales (Cd, Cr, Cu, Ni y Pb) en sedimentos de las estaciones desembocadura del Canal del Dique, desembocadura de caño Correa y Álcalis, se muestran en la Tabla 7.5. En ninguna de las estaciones los metales analizados sobrepasaron los valores de referencia para efectos probables (PEL), tanto para sedimentos marinos como fluviales. Es importante mencionar que, en todas las estaciones de sedimento, el Zn, Cr, Cu y Ni, estuvieron en concentraciones considerablemente mayores durante el muestreo realizado en septiembre-

octubre de 2016, lo cual está estrechamente relacionado con la época de lluvias, debido al incremento de los aportes del Canal del Dique.

Tabla 7.5. Metales pesados totales en los sedimentos superficiales de las estaciones Desembocadura Canal del Dique y Álcalis, medidas en septiembre-octubre de 2016 y febrero-marzo de 2017 en el departamento de Bolívar. Los valores de referencia para efectos probables se tomaron de Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). No medido (-).

Zona	Estación	Metales Pesados totales (µg/g)													
		septiembre-octubre de 2016							febrero-marzo de 2017						
		Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni	Hg
Bahía de Cartagena	B. Canal del Dique	0,98	7,32	24,8	15,8	44,95	14,17	-	0,43	5,48	7,32	13,5	17,6	7,83	0,31
	Álcalis	0,72	5,48	16,0	13,96	41,36	7	-	<0,2	2,67	3,85	10,8	10,62	2,48	0,55
Barbacoas	B. Caño Correa	0,38	2,41	10,39	6,7	30,23	8,3	-	<0,2	2,64	7,92	8,8	13,37	6,03	0,74
Referencia PEL* sedimentos marinos		4,2	112	160	108	271	42,8	0,7	4,2	112	160	108	271	42,8	0,7
Referencia PEL* sedimentos de agua dulce		3,53	91,3	90	197	315	36	0,48	3,53	91,3	90	197	315	36	0,48

La concentración de Hg total registrada en el muestreo de febrero-marzo del año 2017, en la estación desembocadura de Caño Correa sobrepasó el valor de referencia para sedimentos marinos (Buchman, 2008), lo cual se relaciona con los desechos producidos por la quema de combustibles fósiles y el tránsito de embarcaciones. En el caso particular de la estación de Álcalis, aunque en esta estación la concentración de mercurio determinada en febrero-marzo del año 2017 no sobrepasó la referencia PEL, en esta zona se ha presentado contaminación por este metal 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) a los 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 (Manjarrez et al., 2008). Adicionalmente, en el departamento de Bolívar es posible identificar fuentes de contaminación asociadas a la escorrentía y aportes de los caños que transportan aguas del río Magdalena como el Lequerica, el Matunilla y el arroyo Plata.

Durante el muestreo de septiembre-octubre de 2016, en los sedimentos de las estaciones desembocadura Canal del Dique, Álcalis y desembocadura Caño Correa, se detectaron concentraciones de hidrocarburos totales de 7,18, 94,75 y 34,42 µg/g respectivamente. En el muestreo realizado en febrero-marzo de 2017 las concentraciones de hidrocarburos totales en las estaciones de Álcalis y la desembocadura del Canal del Dique fueron de 72,5 µg/g, mientras que para la desembocadura de Caño Correa los valores alcanzaron los 90,0 µg/g. Estos resultados no corresponden a concentraciones naturales (<15 µg/g), y clasifican como sedimentos con contaminación media (>50-200 µg/g), según los valores de referencia propuestos por Massoud et al. (1998). Como ha sido documentado en informes anteriores, la contaminación de la bahía de Cartagena por hidrocarburos, se debe principalmente a los derrames incidentales producto de la actividad marítima y portuaria, el tráfico de embarcaciones, el transporte de petróleo y sus derivados en el área y, por supuesto, a los aportes

del Canal del Dique y los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales ([Guzmán, 2006](#)).

7.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ La calidad de las aguas marinas del departamento de Bolívar varía de acuerdo a la presencia de fuentes terrestres de contaminación, es así que en las zonas Costa Norte e Islas, se presentaron condiciones óptimas, adecuadas y aceptables para la preservación de flora y fauna durante los dos muestreos, mientras que en las Bahías de Cartagena y Barbacoas, zonas asociadas a un mayor aporte de aguas continentales, se presentaron las condiciones inadecuadas para la preservación de flora y fauna acuática. Así mismo, es de recalcar que el impacto generado por estas fuentes reflejó una clara variación de acuerdo a la temporada de muestreo, asociada al cambio en las condiciones climáticas y los regímenes de precipitación.
- ❖ Los niveles de metales pesados en las aguas y sedimentos marinos del departamento de Bolívar no representan un riesgo para la biota acuática al encontrarse por debajo del límite de cuantificación del método y de los valores de referencia de la NOAA para efectos crónicos y agudos.
- ❖ Las concentraciones de Hg total en sedimentos de la desembocadura del Caño Correa (canal del Dique), sobrepasan los niveles de referencia para efectos probables e implican un riesgo tanto para la fauna acuática como para la comunidad costera. Se recomienda realizar estudios a corto plazo que permitan determinar la proveniencia de este elemento para poder establecer medidas de control efectivas.
- ❖ Los sedimentos de las estaciones Álcas, desembocadura de caño Correa y desembocadura del Canal del Dique, exhiben una contaminación media por hidrocarburos del petróleo que puede representar una amenaza para los ecosistemas y las comunidades de la zona costera del departamento.

SUCRE

Ramiro Rueda-Bernal



Isla Santa Cruz de pescadores. Foto: José Vega

EQUIPO TÉCNICO CARSUCRE

Tulio Rafael Ruiz – Director Técnico de Laboratorio de Calidad Ambiental de Morrosquillo
Liceth Herrera Benavides – Coordinador de Calidad del Laboratorio de Calidad Ambiental de Morrosquillo
Yerman Sierra Zapata – Técnico de Campo
Leonardo Ruiz Gómez - Técnico de Campo
Gustavo Gabriel Galindo – Técnico de Campo

8. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE SUCRE

La zona costera del departamento de Sucre que abarca los municipios de Coveñas, Tolú y San Onofre, se caracteriza por presentar un clima cálido con temperaturas entre los 27 y 30°C, precipitaciones anuales de entre 1.000 y 1.500 mm y una humedad relativa del 85%. Así mismo, los periodos de sequía en el departamento pueden ser duraderos lo cual representa un frecuente problema para el agro y la población rural ([Aguilera, 2005](#)). La ganadería intensiva corresponde a la actividad agropecuaria más importante mientras que el arroz, el ñame, la yuca y el maíz son los cultivos más populares dentro del gremio de los agricultores ([MinAgricultura, 2016](#)).

Para el año 2017, la población estimada del departamento fue de 868,438 habitantes de los cuales más de 97,000 habitan los municipios de San Onofre, Tolú y Coveñas ([DANE, 2017](#)). El 52% de los habitantes costeros residen en San Onofre, mientras que Tolú alberga el 34% de esta población y Coveñas el 14% restante. La producción de aguas residuales en las zonas costeras ronda las 13.000 m³/s y debido a que menos del 50% de la población rural cuenta con alcantarillado, gran parte de estos residuos se vierten directamente a los cuerpos de agua ([Superservicios, 2014a](#)), lo cual lo convierte en la principal fuente de contaminación. En cuanto a los residuos sólidos, la producción de los mismos alcanza las 27,23 ton/día de los cuales Tolú aporta el 66% aproximadamente. Adicionalmente, a pesar de que en la zona costera de Sucre no se presentan grandes descargas fluviales, existen diversos caños y arroyos como los caños Zaragocilla, Guacamayo, Alegría, Guainí y Pechelín y el arroyo Villeros, que circulan por áreas de ganadería intensiva y zonas urbanas, recibiendo aguas residuales y residuos sólidos que son descargados en el golfo de Morrosquillo. En la costa de Santiago de Tolú se desarrollan diversas actividades socioeconómicas como almacenamiento, cargue y descargue de combustible, tráfico de embarcaciones de combustión fósil, turismo, entre otros, que generan residuos contaminantes, considerados fuentes de contaminación.

Con el fin de obtener información que facilite la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional de Sucre - CARSUCRE, para el manejo integral del medio ambiente marino, la REDCAM realiza desde el año 2001 la evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento, teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, microbiológicas y contaminantes orgánicos e inorgánicos. El presente informe contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas marino-costeras en base a las mediciones realizadas en el segundo muestreo de 2016 y el primer muestreo de 2017.

8.1 ZONAS DE MONITOREO

La REDCAM cuenta con 32 estaciones para evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento de Sucre. Estas se distribuyen en tres zonas principales: la zona de **San Onofre**, que se extiende desde Matatigre hasta el islote Santa Cruz y cuenta con cuatro estaciones; la zona de **Golfo Afuera**, que comprende cinco estaciones ubicadas desde el golfo de Morrosquillo hasta la estación del Golfo 7 y 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 tiene 23 estaciones y comprende desde el golfo frente a Berrugas hasta el arroyo Villeros. Esta última se caracteriza por presentar una alta actividad turística y cuenta con un mayor aporte dulceacuícola y de aguas estuarinas (Figura 8.1).

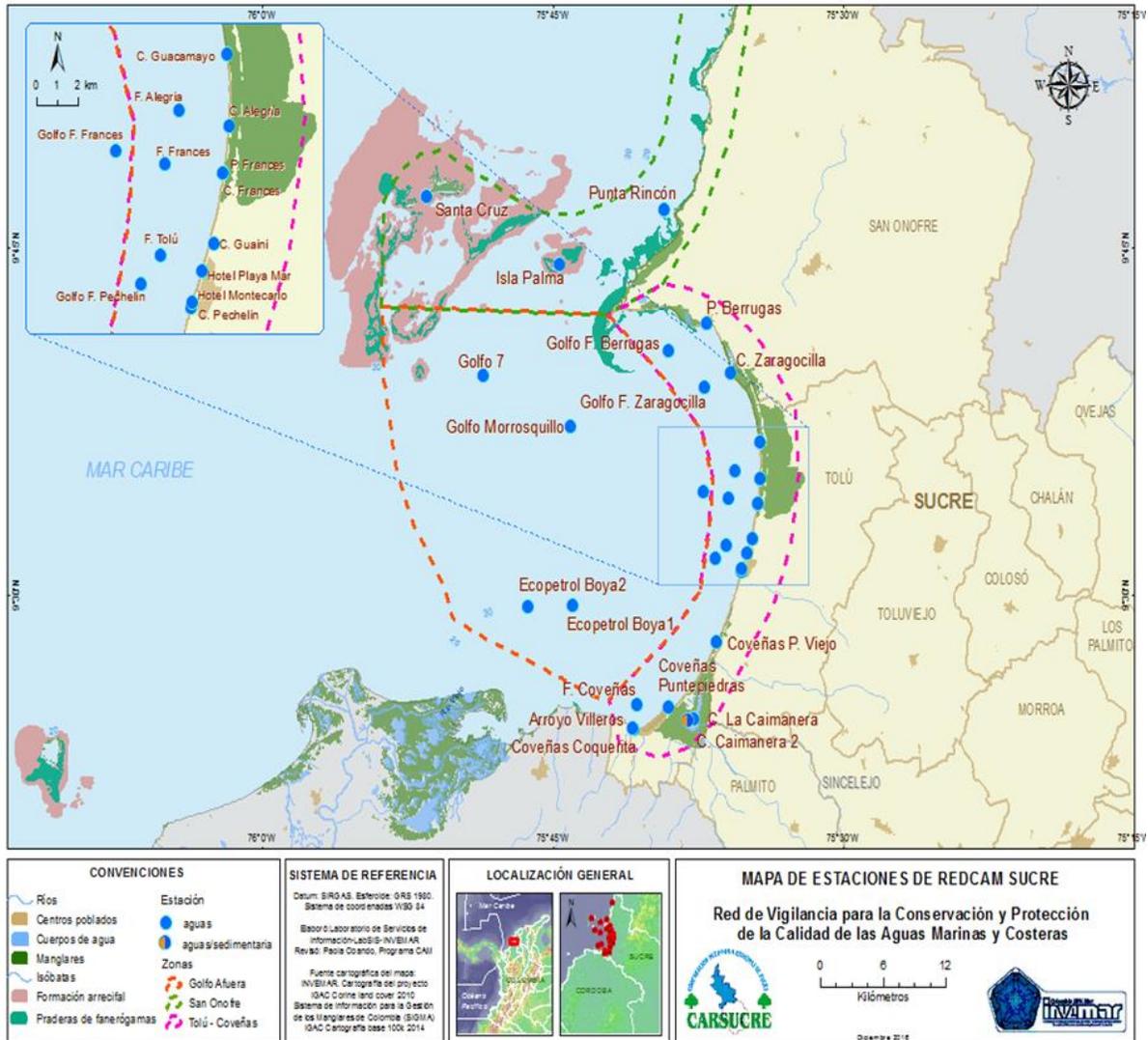


Figura 8.1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos azules y marrón con azul) en el departamento de Sucre.

Los muestreos fueron realizados por el INVEMAR, en compañía de funcionarios de CARSUCRE, entre los días 24 y 26 de octubre de 2016 (de ahora en adelante octubre 2016) y en los días 25 y 26 de julio de 2017 (de ahora en adelante julio 2017). Para esos meses se registró en la zona costera del departamento una precipitación acumulada entre 200 y 300 mm en octubre de 2016, y en julio de 2017 una precipitación acumulada de 150 mm (IDEAM, 2017a).

8.2 CALIDAD DE AGUAS

En octubre de 2016, la temperatura del agua superficial reportada para las estaciones del Golfo de Morrosquillo osciló entre los 28,6 °C y los 31,1 °C mientras que en julio del 2017 la temperatura mínima fue de 28,2 °C y la máxima alcanzó los 34,7 °C. Estos valores se encuentran dentro de los rangos de temperatura del registro histórico de la REDCAM, sin embargo se observó que durante el primer muestreo el 93% de las estaciones sobrepasaron los 29°C de temperatura media que caracterizan el agua superficial de la región durante la época de muestreo y en julio de 2017, el 81% de las estaciones estuvieron por encima de dicha referencia ([Bastidas y Ordoñez, 2017](#)). Debido a la susceptibilidad de los diferentes ecosistemas marinos al cambio climático y las fluctuaciones en la temperatura del agua superficial marina, es de gran importancia resaltar que al igual que en los reportes de otros años la playa del hotel Playa Mar se caracterizó por presentar temperaturas particularmente altas (34,4 °C para el año 2017 y 32,9 °C en octubre de 2016).

Tabla 8.1. Temperatura del agua superficial registrada de las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, en octubre de 2016 y julio de 2017.

Zona	Estación	oct-16		jul-17	
		Hora	Temperatura (°C)	Hora	Temperatura (°C)
San Onofre	Santa Cruz	10:10	30,4	10:33	30,6
	Isla Palma	10:45	30,5	10:54	31,5
	Matatigre	11:45	31,3	11:48	33,0
	Punta Rincón	13:00	31,6	12:21	31,7
Golfo Afuera	Golfo F. Pechelín	07:30	30,1	07:36	31,1
	Ecopetrol Boya 1	08:20	30,0	09:02	30,7
	Ecopetrol Boya 2	08:40	29,6	09:16	30,5
	Golfo de Morrosquillo	09:10	30,3	09:39	30,6
	Golfo 7	09:40	30,0	10:09	30,9
Tolú-Coveñas	C. Guacamayo	12:43	28,8	14:15	31,0
	C. Alegría	13:22	28,9	14:40	29,3
	C. Francés	13:53	28,7	14:59	34,7
	P. Francés	13:57	29,6	15:02	34,4
	C. Guainí	14:14	30,7	15:19	30,8
	Hotel Playa Mar	14:27	32,9	15:34	34,4
	Hotel Montecarlo	14:42	32,9	15:56	33,3
	C. Pechelín	14:56	30,8	16:10	29,8
	Coveñas P. Viejo	15:41	32,5	16:41	33,2
	Coveñas Puntepedras	16:05	33,1	17:04	32,6
	Coveñas Coquerita	16:29	32,0	17:22	32,9
	Arroyo Villeros	16:41	31,8	17:30	31,5
	F. Tolú	07:15	30,4	07:10	31,0
	Golfo F. Berrugas	13:40	30,8	12:47	31,9
	P. Berrugas	13:55	32,2	12:59	32,4
	C. Zaragocilla	14:21	28,8	13:18	29,6
	Golfo F. Zaragocilla	14:40	30,8	13:30	31,9
	F. Alegría	15:00	30,7	13:43	32,2
	Golfo F. Francés	15:17	30,6	13:50	32,0
	F. Francés	15:45	30,9	14:00	32,2
	C. La Caimanera	09:08	28,6	09:37	31,9
	C. La Caimanera 2	09:38	28,9	10:08	32,6
	F. Coveñas	08:00	30,1	07:54	30,7

La salinidad del agua superficial en las estaciones de muestreo, se muestra en la Figura 8.2. Las salinidades más altas se registraron en las estaciones ubicadas en la zona de San Onofre, de manera similar a la tendencia histórica reportada en la base de datos REDCAM. En octubre de 2016, la salinidad se encontró entre los 31,2 y 31,7, lo cual permite clasificar las aguas de esta zona como marinas mesohalinas, según la escala propuesta por Knox (2001); en julio de 2017, a excepción de la estación Isla de Santa Cruz, la salinidad registrada ubica las aguas de esta región dentro de la categoría oligohalina (<30,0. En la zona de Golfo Afuera, la salinidad fue más fluctuante y los valores se encontraron entre 22,4 y 31,3; el muestreo de 2017 presentó exclusivamente aguas marinas oligohalinas (Knox, 2001). En las estaciones ubicadas en la zona del corredor Tolú-Coveñas, las salinidades fueron ampliamente variantes y los valores registrados oscilaron entre los 0,1 y 31,0, presentándose estaciones tanto de aguas dulces y salobres, como las estaciones los caños Guacamayo, Alegría, Francés, Guaní, Pechelín y Zaragocilla, como de aguas marinas oligohalinas y mesohalinas. Adicionalmente, debido a que en la época de precipitaciones (octubre) se genera una mayor descarga dulceacuícola proveniente de caños y arroyos, el sector del corredor Tolú-Coveñas fue la única zona de muestreo en la que algunas estaciones presentaron salinidades mayores en el mes de julio de 2017 que en octubre de 2016.

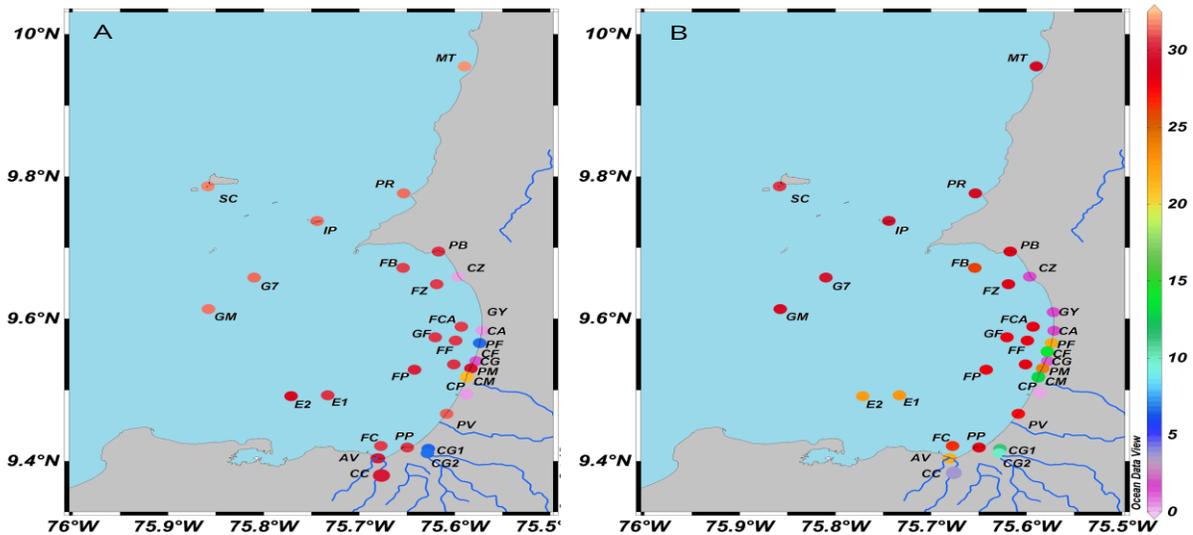


Figura 8.2. Salinidad del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, en a) octubre de 2016 y b) julio de 2017. MT: Matatigre, SC: Santa Cruz, PR: Punta Rincón, IP: Isla Palma, PB: P. Berrugas, FB: Golfo F. Berrugas, CZ: C. Zaragocilla, FZ: Golfo F. Zaragocilla, GY: C. Guacamayo, FCA: F. Alegría, CA: C. Alegría, PF: P. Francés, CG: C. Guainí, PM: Hotel Playa Mar, CM: Hotel Montecarlo, CP: C. Pechelín, FP: Golfo F. Pechelín, E1: Ecopetrol Boya 1, E2: Ecopetrol Boya 2, GM: Golfo de Morrosquillo, G7: Golfo 7, FF: F. Francés, CF: C. Francés, PV: Coveñas P. Viejo, PP: Coveñas Puntepedras, CC: Coveñas Coquerita, FT: F. Tolú, GF : Golfo F. Francés, CG1: C. La Caimanera, CG2: C. La Caimanera 2, FC: F. Coveñas.

En general, las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) en el agua superficial del departamento de Sucre fueron favorables para la preservación de la flora y fauna acuática, ya que se encontraron por encima del valor de referencia de 4 mg O₂/L (Figura 8.3; MinSalud, 1984), exceptuando los caños Guacamayo, Alegría, Francés, Zaragocilla, la Caimanera y la playa el Francés, ubicados en la zona Tolú-Coveñas, que presentaron concentraciones hasta de

0,38 mg O₂/L en octubre de 2016 y 0,16 mg O₂/L en julio de 2017, consecuencia de los vertimientos de aguas residuales directos de las viviendas cercanas a los cuerpos de agua que tienen nula o baja cobertura de alcantarillado (INVEMAR, 2017d). La variabilidad de las concentraciones de OD entre los muestreos, está relacionada con la presencia de lluvias que aumentan la escorrentía urbana y traen consigo un mayor aporte de material orgánico susceptible a degradación por parte de organismos bacterianos aerobios, aumentando el consumo de oxígeno en el agua (Mazzeo *et al.*, 2002; Quintero *et al.*, 2010). En la estación Caño Francés, se registró una concentración de OD de 9,01 mg/L y una saturación de OD del 140% en julio de 2017, lo cual es indicador de procesos de eutrofización en el sistema, debido a los altos aportes de nutrientes que propician altas densidades de algas microscópicas y que pueden producir cambios drásticos en las concentraciones de oxígeno durante el día y la noche (Camargo y Alonso, 2006; Wright y Colling, 1995).

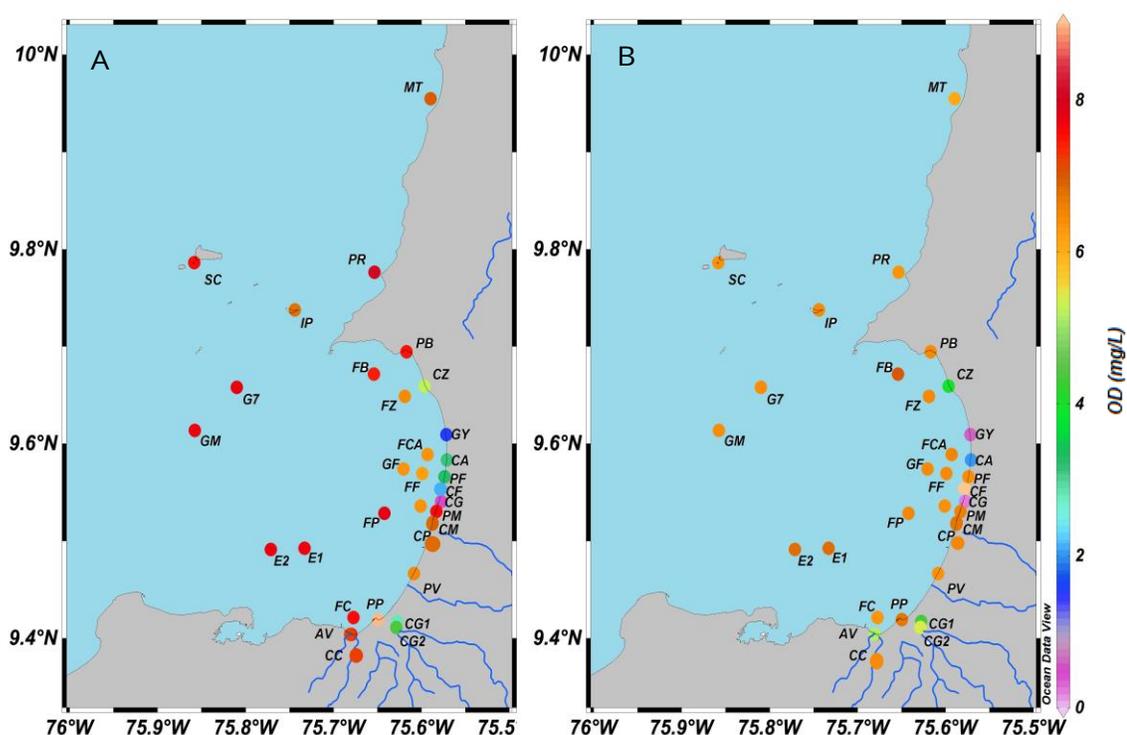


Figura 8.3. Oxígeno disuelto (OD) en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, en los muestreos de A) octubre de 2016 y B) julio de 2017. MT: Matatigre, SC: Santa Cruz, PR: Punta Rincón, IP: Isla Palma, PB: P. Berrugas, FB: Golfo F. Berrugas, CZ: C. Zaragocilla, FZ: Golfo F. Zaragocilla, GY: C. Guacamayo, FCA: F. Alegría, CA: C. Alegría, PF: P. Francés, CG: C. Guainí, PM: Hotel Playa Mar, CM: Hotel Montecarlo, CP: C. Pechelín, FP: Golfo F. Pechelín, E1, E2: Ecopetrol Boya 1, E2: Ecopetrol Boya 2, GM: Golfo de Morrosquillo, G7: Golfo 7, FF: F. Francés, CF : C. Francés, PV: Coveñas P. Viejo, PP: Coveñas Puntepiedras, CC: Coveñas Coquerita, FT: F. Tolú, GF : Golfo F. Francés, CG1: C. La Caimanera, CG2: C. La Caimanera 2, FC: F. Coveñas.

Aunque históricamente en las zonas de San Onofre, Golfo Afuera y el corredor Tolú-Coveñas se han presentado valores promedio de OD superiores al criterio establecido para la conservación de fauna y flora (4,0 mg/L; Figura 8.4), las estaciones ubicadas en los caños se han caracterizado por presentar una gran variabilidad anual y con frecuencia se han reportado

valores por debajo del límite permisible para la preservación de flora y fauna (MinSalud, 1984). Estas bajas concentraciones de OD son atribuidas a eventos puntuales relacionados con la variación en las condiciones climáticas y los aumentos en la descarga de aguas residuales que generan una alteración en la tasa de degradación de la materia orgánica presente en los cuerpos de agua dulceacuícolas.

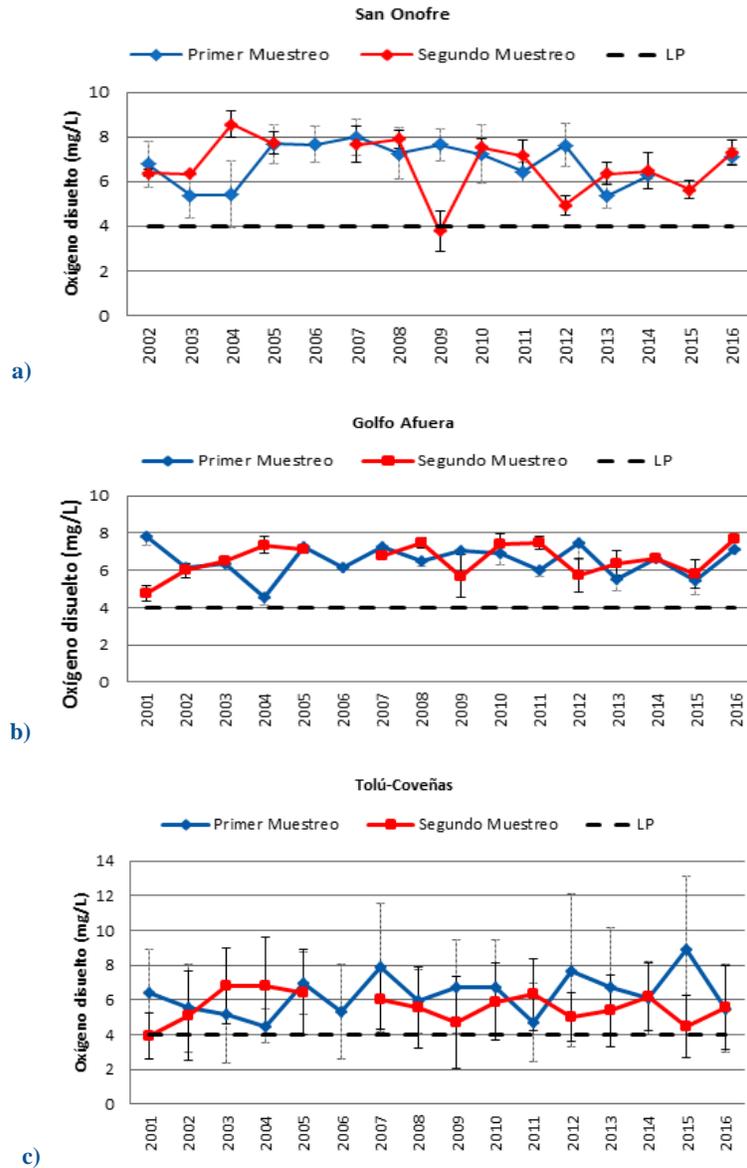


Figura 8.4 . Promedios históricos de oxígeno disuelto en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Sucre, en el primer semestre y segundo semestre de los años entre 2001 y 2016. La línea negra punteada en 4,0 mg de O₂/L indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

En todas las estaciones del departamento de Sucre, el pH se encontró dentro de los rangos permisibles por el Decreto 1594 de 1984 para la preservación de fauna en aguas cálidas dulces, marinas y estuarinas (dulces: 4,5 – 9,; marinas y estuarinas: 6,5 – 8,5; MinSalud, 1984;

en la Figura 8.6 en el muestreo de julio de 2017, esta estación presentó aguas de calidad aceptable.

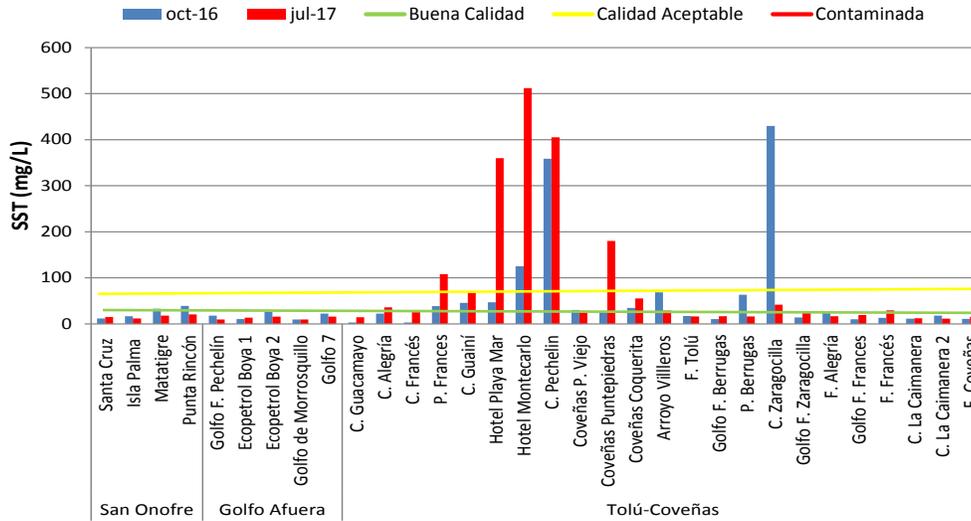


Figura 8.6. Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, en los muestreos de octubre de 2016 y julio de 2017. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015). La línea verde indica buena calidad (>25≤75 mg/L), la línea amarilla indica el rango de calidad aceptable (>75≤150 mg/L) y la línea naranja corresponde a aguas contaminadas (>150≤400 mg/L) los valores por encima de 400 mg/L corresponden a aguas fuertemente contaminadas (400 mg/L). NOTA: Los valores por debajo de 25 mg/L corresponden a aguas de excelente calidad.

Históricamente, las concentraciones de SST han presentado variaciones entre las zonas de muestreo (Figura 8.7). En San Onofre y Golfo Afuera, la tendencia de variación temporal ha presentado un comportamiento similar y la mayoría de las mediciones de SST han estado por debajo de los 75 mg/L, lo cual permite considerarlas como aguas con buena calidad, de acuerdo a la referencia de CONAGUA (2015). En la zona de Tolú-Coveñas, se ha registrado el rango más amplio, debido mayormente a la influencia de algunos cuerpos dulceacuícolas y a una mayor actividad antrópica. Una gran proporción de las estaciones en esta zona han tenido SST por debajo de los 75 mg/L, clasificando como aguas de buena calidad, sin embargo, en algunas estaciones como lo son los caños Francés y Zaragocilla, y la playa del Hotel Montecarlo, se han reportado aguas en condiciones aceptables y contaminadas en repetidas ocasiones, lo cual afecta considerablemente los promedios anuales de la zona. Los promedios de SST anuales más altos del corredor Tolú-Coveñas se presentaron durante la segunda parte del año 2008 (110,1 mg/L) y en el segundo semestre de 2010 (96,0 mg/L), lo cual podría estar asociado con el incremento en el aporte fluvial causado por el aumento pluviométrico sobre las cuencas de los diferentes ríos durante años de La Niña

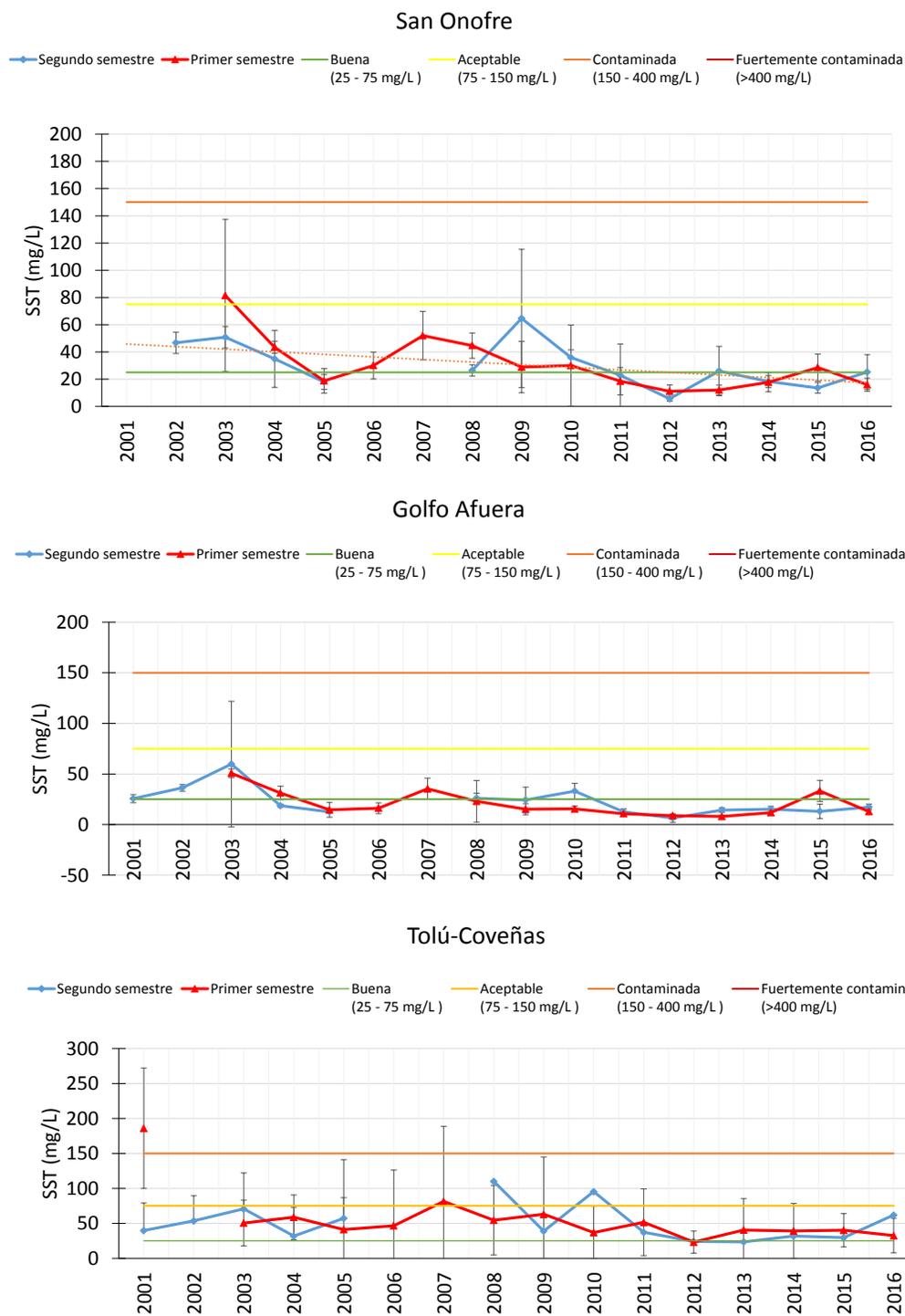


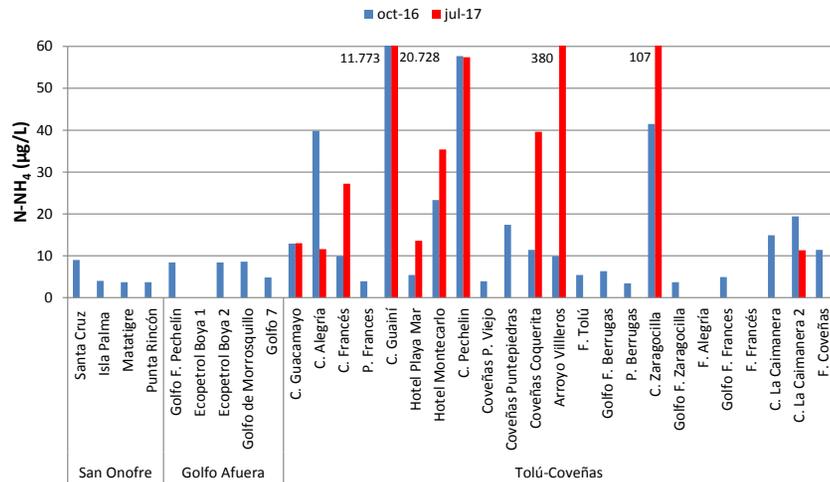
Figura 8.7. Promedios históricos de Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Con relación a los nutrientes inorgánicos disueltos, las concentraciones de amonio (N-NH_4) en la zona de San Onofre y la zona de Golfo Afuera en julio de 2017, estuvieron por debajo de los límites de cuantificación ($<3,1 \mu\text{g/L}$; Figura 8.8b), mientras que en octubre de 2016 las concentraciones en estas zonas oscilaron entre los $3,7 \mu\text{g/L}$ y $9,0 \mu\text{g/L}$. En el caso de las estaciones del corredor Tolú-Coveñas se reportaron valores mínimos por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica ($< 3,1 \mu\text{g/L}$) y un valor máximo de $20.728 \mu\text{g/L}$ en la estación de caño Guainí, en el que históricamente se han registrado elevadas concentraciones de nutrientes y baja concentración de oxígeno disuelto, debido a la presencia de vertimientos de aguas residuales que hacen de este un cuerpo de agua altamente eutrofizado con valores de amonio considerablemente mayores a los del resto de la región.

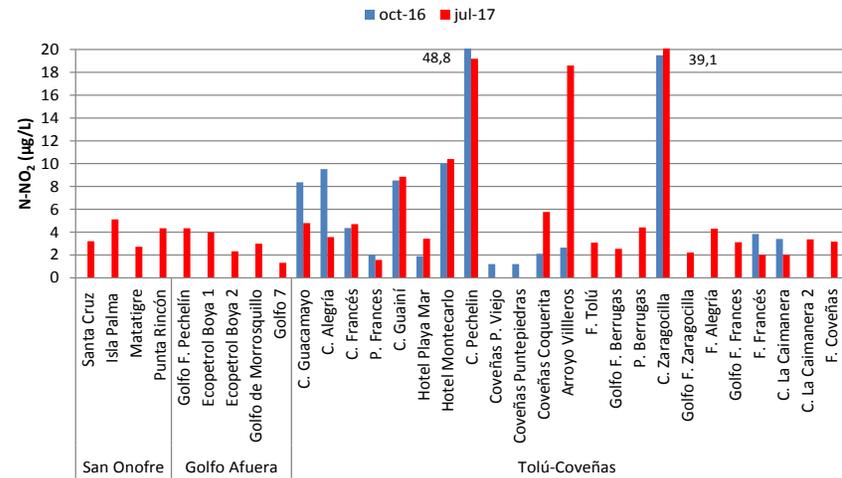
Las concentraciones de nitritos (N-NO_2^-) en las zonas de Golfo Afuera y San Onofre, estuvieron entre valores por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica utilizada ($0,7 \mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$) y $5,11 \mu\text{g/L}$ (Figura 8.8a). En la zona del corredor Tolú-Coveñas, debido a su cercanía a centros urbanos, al impacto generado por el vertimiento de aguas domésticas y al manejo inadecuado de residuos sólidos y líquidos, se registraron mayores concentraciones de nitritos en aguas superficiales, principalmente en los caños Pechelín y Zaragocilla, donde los valores máximos alcanzaron los $48,8 \mu\text{g/L}$ y $39,1 \mu\text{g/L}$, respectivamente.

Los niveles de nitratos (N-NO_3^-) en la zona de San Onofre fluctuaron entre valores menores al límite de cuantificación ($2,1 \mu\text{g/L}$) y $40,5 \mu\text{g/L}$, mientras que Golfo Afuera las estaciones presentaron valores máximos de $10,2 \mu\text{g/L}$. En cuanto al corredor Tolú-Coveñas las concentraciones más altas se presentaron durante el muestreo de julio de 2017, en las estaciones de Golfo F. Zaragocilla $531 \mu\text{g/L}$ y Coveñas P. Viejo $358 \mu\text{g/L}$.

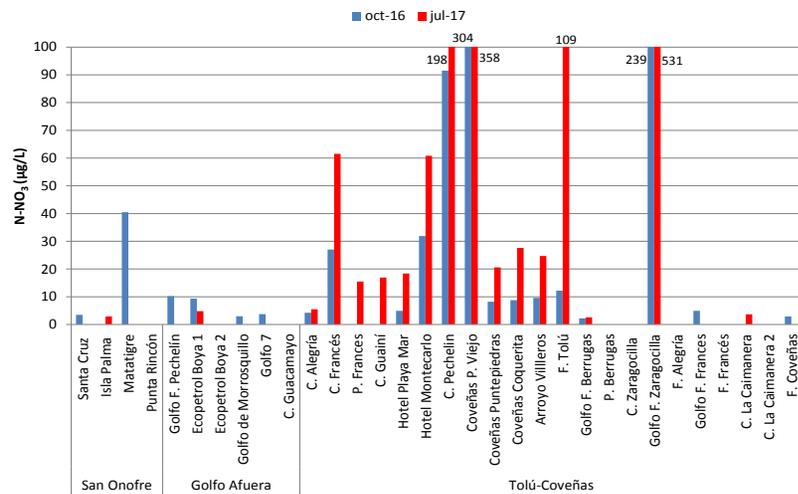
Los ortofosfatos se encontraron entre valores inferiores al límite de cuantificación de la técnica analítica ($<2,4 \mu\text{g P-PO}_4^{-3}/\text{L}$) y $1674 \mu\text{g P-PO}_4^{-3}/\text{L}$. Las mayores concentraciones se detectaron en los caños Guainí ($1674 \mu\text{g P-PO}_4^{-3}/\text{L}$), en el muestreo de octubre de 2016 y Francés ($1132 \mu\text{g P-PO}_4^{-3}/\text{L}$), durante el muestreo de julio de 2017; en los caños Guacamayo, Pechelín y Alegría también se presentaron niveles superiores a los $200 \mu\text{g/L}$, lo cual, además de evidenciar la influencia de las descargas fluviales, es indicador de la presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas y escorrentías agrícolas.



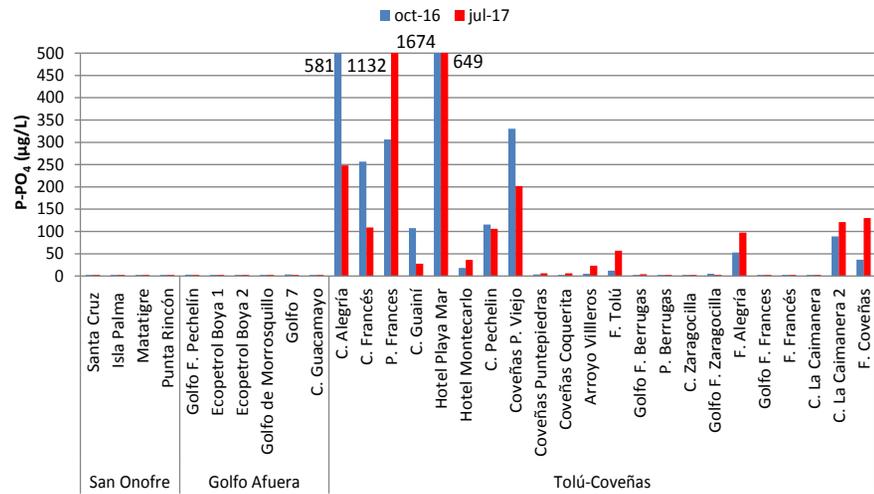
a)



b)



c)



d)

Figura 8.8. Concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio ($N-NH_4^+$), b) nitritos ($N-NO_2^-$), c) nitratos ($N-NO_3^-$) y d) ortofosfatos ($P-PO_4^{3-}$), en el agua superficial de las estaciones de muestreo REDCAM del departamento de Sucre, en los muestreos de octubre de 2016 y julio de 2017.

Con el fin de evaluar la calidad microbiológica de las aguas superficiales del departamento, se midieron las concentraciones de coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE). Los CTT, estuvieron entre valores inferiores al límite de cuantificación de la técnica analítica (<1,8NMP/100mL) y 5.400.000 NMP/100mL (Tabla 8.2), el 43% de las estaciones sobrepasaron los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario (natación y buceo) y secundario (deportes náuticos y pesca). Los valores más altos se presentaron en las desembocaduras de los caños del corredor Tolú-Coveñas, principalmente el caño. En relación a los CTE, el 53% de las estaciones presentaron concentraciones superiores al límite permisible para contacto primario, los valores oscilaron entre los 2,0 CTE/100mL y 5.400.000 CTE/100mL, igualmente las estaciones ubicadas en las desembocaduras de los caños fueron los puntos que presentaron los valores más altos, lo cual sugiere que existe un fuerte impacto generado por el vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. Es de gran importancia resaltar las altas concentraciones de CTT y CTE registradas en las playas de los hoteles Montecarlo y Playa Mar, ya que estos evidencian el fuerte impacto generado por los turistas sobre la calidad del agua y adicionalmente alertan sobre los riesgos actuales de su uso y explotación comercial.

Tabla 8.2. Concentraciones de coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en el Departamento de Sucre, medidos en los muestreos de octubre de 2016 y julio de 2017. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de [MinSalud \(1984\)](#). (-) no medidos.

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		oct-16	jul-17	Rango Histórico	Percentil 90	oct-16	jul-17	Rango Histórico	Percentil 90
San Onofre	Santa Cruz	1.600	23	4 – 35.000	1.400	2	1600	1,8 – 35.000	790
	Isla Palma	240	49	1,8 – 1.986	240	2	13	1,8 - 240	218
	Punta Rincón	3.500	9.200	20 – 160.000	3.000	3500	3500	17 – 92.000	2.400
Golfo Afuera	Golfo F. Pechelín	920	350	1,8 – 16.000	1.200	170	110	1,8 – 3.500	1.700
	Golfo de Morrosquillo	23	130	1,8 – 1.120	1.120	4,5	2	1,8 - 90	90
Tolú-Coveñas	C. Guacamayo	13.000	7.900	23.000 – 24.000	24.000	7900	2700	1.800 – 13.000	13.000
	C. Alegría	4.600	35.000	49.000 – 49.000	-	3300	3300	7.800 – 7.800	-
	C. Francés	790	3.500	3.500 – 70.000	70.000	35000	2300	700 – 33.000	33.000
	P. Francés	1.100.000	5.400.000	2 – 11.000	9.000	3500	220	0,9 – 9.200	5.400
	C. Guainí	240	700	16.000 – 1.300.000	1.300.000	540000	700000	16.000 – 330.000	330.000
	Hotel Playa Mar	>16.000	16.000	7,8 – 24.000	8.000	110	240	4,5 – 24.000	5.400
	Hotel Montecarlo	920.000	110.000	14 – 24.000	16.000	16000	>16000	6,1 – 24.000	11.000
	C. Pechelín	33	240	24.000 – 3.500.000	3.500.000	46000	350000	2.700 – 3.500.000	3.500.000
	Coveñas P. Viejo	49	70	18 – 5.400	3.300	49	33	4 - 5.400	2.200
	Coveñas Puntepedras	2.400	16.000	4,5 – 3.400	1.785	14	13	2 - 3.400	800
	Coveñas Coquerita	4.500	160.000	180 – 160.000	140.000	16000	1300	20 – 160.000	49.000
	Arroyo Villeros	33	240	1.300 – 16.000.000	9.200.000	24000	2000	10 – 9.200.000	2.200.000
	F. Tolú	33	920	1,8 – 160.000	5.000	240	<1,8	1,8 – 92.000	200
	P. Berrugas	350	23	9,3 – 18.000	9.000	<1,8	49	9,3 – 18.000	1.100
	C. Zaragocilla	350.000	24.000	300 – 241.960	140.000	7900	70000	100 – 82.970	54.000
	C. La Caimanera	16.000	1.600	6,8 – 130.000	16.000	21	2.400	2 – 130.000	7.000
C. La Caimanera 2	9.200	350	20 – 1.600	1.600	23	490	2 – 1.600	1.600	
F. Coveñas	-	-	2 – 160.000	2.200	540	7,8	2 – 160.000	1.100	
Límite permisible contacto primario		1000				200			
Límite permisible contacto secundario		5000				-			

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes al criseno (HPDD) fueron medidas en 19 estaciones y los resultados oscilaron entre valores inferiores al límite de cuantificación ($<0,07 \mu\text{g/L}$) y $0,71 \mu\text{g/L}$ (Figura 8.9), valores que se consideran bajos respecto a los reportes históricos (INVEMAR 2017a). Las concentraciones más altas se presentaron en la estación Golfo F. Francés, en la zona de Golfo Afuera, durante el muestreo de octubre de 2016 y son atribuibles al constante tránsito de embarcaciones pequeñas. Es importante recalcar que el 100% de los resultados del departamento se encontraron por debajo de los valores de referencia de $5 \mu\text{g/L}$ para aguas costeras con baja contaminación y de $10 \mu\text{g/L}$ (UNESCO, 1984) para aguas marinas con contaminación alta, por lo tanto se considera que estos resultados no representan una amenaza para la biota acuática.

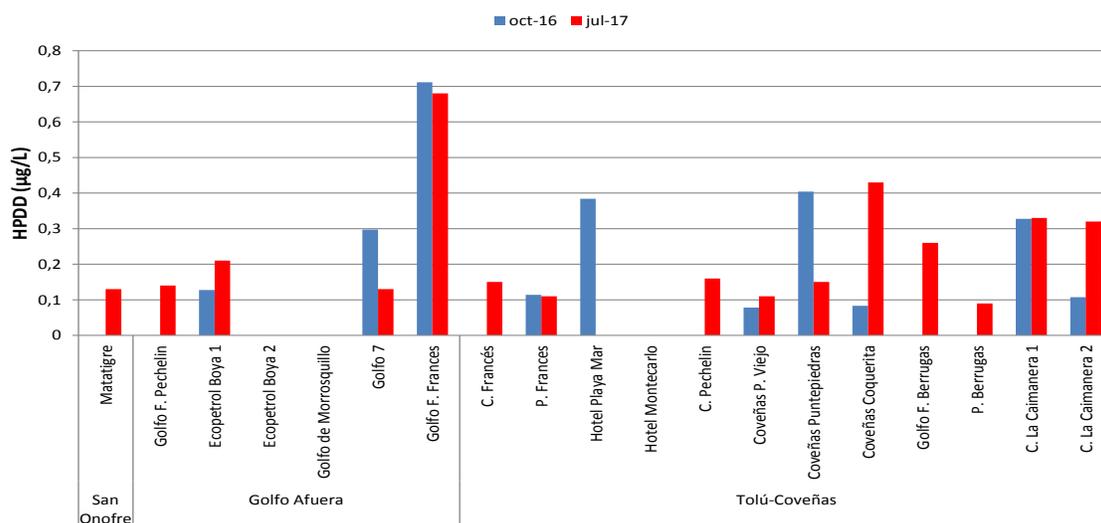


Figura 8.9 Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) medidos en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre en los muestreos de octubre de 2016 y julio de 2017.

En la Figura 8.10 se muestran las concentraciones históricas promedio de HPDD en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre. Históricamente, las concentraciones de HPDD han sido fluctuantes, presentándose estaciones con aguas de contaminación baja ($>5 \mu\text{g/L}$) en todas las zonas de muestreo y estaciones altamente contaminadas ($>10 \mu\text{g/L}$), en las zonas del corredor Tolú-Coveñas y Golfo Afuera, principalmente asociadas a residuos de aguas de sentina y eventos puntuales de derrame de hidrocarburos. Además, la presencia de estos contaminantes en la zona costera del departamento se atribuye a la descarga de diferentes cuerpos fluviales que arrastran, en mayor o menor proporción según la época del año, altos volúmenes de aguas residuales domésticas y de desechos de lavaderos automotores, productos relacionados con el desarrollo de la actividad turística y portuaria y residuos de la manipulación y almacenamiento de petróleo

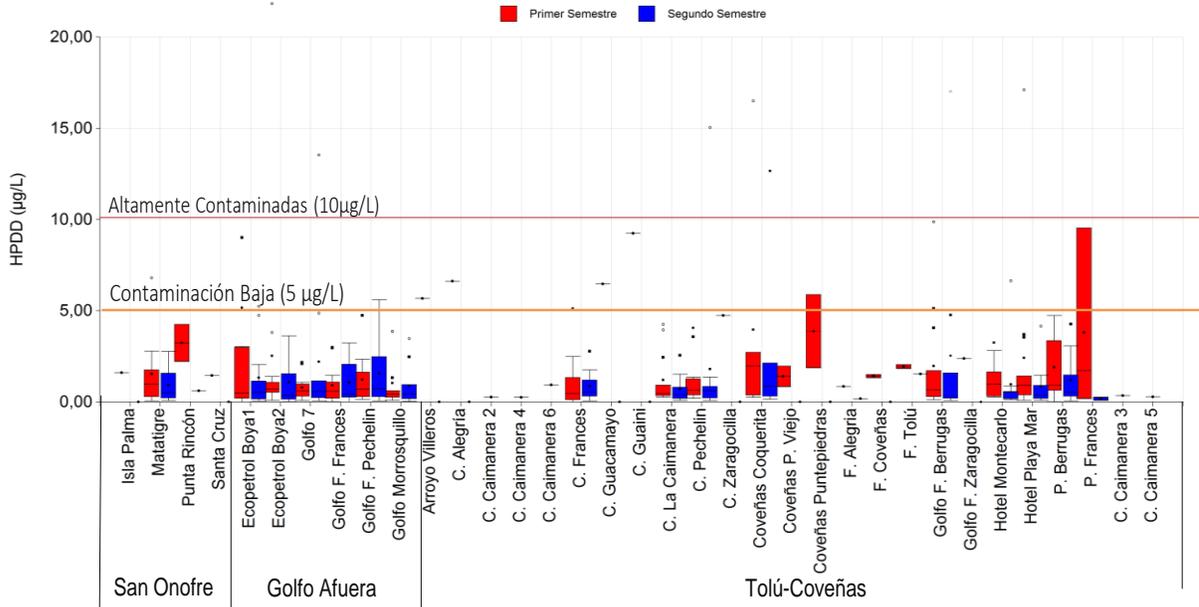


Figura 8.10 Promedio histórico (2001-2016) de HPDD medidos en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, en los primeros y segundos semestres del año. Las barras de error representan las desviaciones estándar. Las líneas roja y naranja corresponden a los valores de referencia planteados por UNESCO, 1984.

En el muestreo de octubre de 2016 se detectó la presencia del plaguicida organofosforado Metil Paration en las estaciones ciénaga la Caimanera 1 y 2, en concentraciones de 580,0 ng/L y 90,0 ng/L, respectivamente. Durante este mismo muestreo se hallaron concentraciones de 11,9 ng/L de a-clordano y 11,8 ng/L de g-clordano, en la estación de Matatigre, perteneciente a la zona de San Onofre. Es importante recalcar que, debido a su alta toxicidad, el uso del clordano se encuentra prohibido según la resolución 447 de 1974, mientras que bajo la resolución 2471 de 1991 del ICA, el uso de Metil Paration se encuentra permitido únicamente en los cultivos de algodón y arroz tecnificado (ICA, 2017), siendo este último uno de los fuertes del agro en el departamento (INVEMAR, 2017d). En el muestro de julio de 2017 las concentraciones de plaguicidas estuvieron por debajo de los límites de cuantificación de la técnica analítica utilizada, lo cual sugiere que estos plaguicidas están llegando a los cuerpos de agua a causa de las escorrentías agrícolas generadas por la temporada de mayores precipitaciones.

Tanto en el muestreo realizado en octubre de 2016 como en el de julio de 2017, las concentraciones de plomo (Pb), cadmio (Cd) y zinc (Zn), se encontraron por debajo de los límites de cuantificación de las técnicas analíticas (Pb: 3,1 µg/L, Cd: 0,42 µg/L, Zn: 6,9 µg/L) (Tabla 8.3). Las concentraciones de níquel (Ni) se encontraron por debajo del límite de cuantificación (1,0 µg/L) con excepción de la estación Golfo F. Morrosquillo, en julio de 2017, donde se registró una concentración de 2,92 µg/L. Cabe destacar que los límites de cuantificación y el valor único de Ni registrado, están por debajo de los valores de referencia reportados por la NOAA para efectos umbral y efectos probables en la biota de aguas marinas, dulces y estuarinas superficiales (Buchman, 2008). Generalmente la contaminación por metales pesados se asocia a la presencia de grandes industrias o a la explotación minera a pequeña y gran escala (Puga et al, 2006). En el caso del departamento de Sucre, este tipo de actividades no son el fuerte de su economía, por lo cual históricamente las concentraciones de estos

contaminantes han sido bajas (INVEMAR, 2017a) y pueden estar asociadas principalmente a la quema de combustibles, la actividad portuaria y la agricultura.

Por otra parte, en algunas estaciones las concentraciones de hierro superaron ampliamente los límites de cuantificación de la técnica analítica (4,7 µg/L) encontrándose valores de hasta 290 µg/L en los puntos de la ciénaga La Caimanera. Aunque estos son valores bastante altos en relación a otros puntos de muestreo, estas concentraciones no representan ningún tipo de riesgo para la preservación de fauna (Buchman, 2008).

Tabla 8.3. Concentraciones de metales pesados disueltos medidos en aguas superficiales del departamento de Sucre en octubre de 2016 y julio de 2017. Valores con el símbolo (<) indica el límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR. La referencia de efectos umbral (ERL) y probables (PEL) para aguas marinas fueron tomados de la NOAA (Buchman, 2008).

Zona	Estación	Plomo		Cadmio		Cobre		Zinc		Níquel		Hierro	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
San Onofre	Matatigre	<3,1	<3,1	<0.42	<0.42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	6,45
Golfo Afuera	Golfo F. Morrosquillo	<3,1	<3,1	<0.42	<0.42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	2,92	<4,7	11
Tolú-Coveñas	Golfo F. Berrugas	<3,1	<3,1	<0.42	<0.42	1,2	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	9,7
	C. la Caimanera 1	<3,1	<3,1	<0.42	<0.42	0,96	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	69,9	255
	C. la Caimanera 2	<3,1	<3,1	<0.42	<0.42	1,06	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	36	290
	Coveñas Coquerita	<3,1	<3,1	<0.42	<0.42	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	5,19	5,15
Referencia de efectos crónicos en agua marina		8,1		8,8		1,3		8		8,2		50	
Referencia de efectos crónicos en agua dulce		2,5		0,25		9		120		52		350	

8.2.1 Calidad del agua de acuerdo con el ICAM_{PFF}

Los resultados del ICAM_{PFF} mostraron que en octubre de 2016, la calidad del agua en el 16% de las estaciones del departamento de Sucre se encontró en óptimas condiciones, el 60% en condiciones adecuadas, el 12% en condiciones aceptables, el 8% en condiciones inadecuadas y una sola estación (Hotel Montecarlo) presentó un pésimo estado para la preservación de flora y fauna marina. Así mismo, se evidenció que en julio de 2017 la única estación en óptimas condiciones fue Isla Palma, el 74% de las estaciones presentaron condiciones adecuadas, el 4% condiciones aceptables y la playa del Hotel Montecarlo continuó presentando una pésima calidad para la preservación de la fauna y flora marina. Los resultados reportados en el presente informe deben ser tenidos en cuenta por autoridades ambientales principalmente debido a que las playas de mayor interés turístico fueron las que reflejaron los estados de contaminación más desfavorables (Figura 8.11).

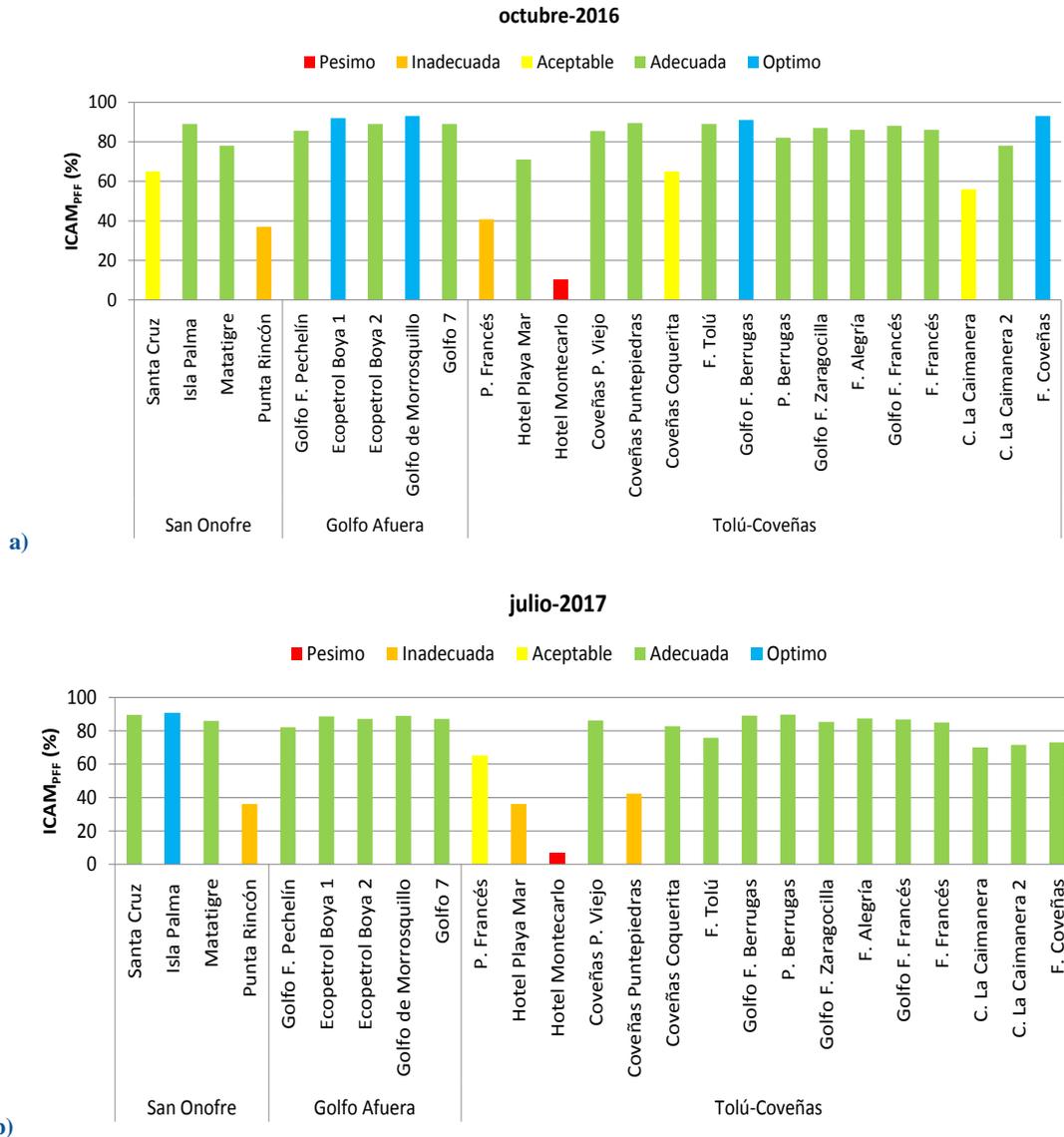


Figura 8.11. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento de Sucre evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), en octubre de 2016 (a) y julio de 2017 (b).

Como se muestra en la (Tabla 8.4), en comparación con los últimos años (2013-2015) la calidad de las aguas del departamento de Sucre ha venido decayendo, más específicamente en las zonas de San Onofre y el corredor Tolú-Coveñas, donde las condiciones han pasado de ser adecuadas y aceptables a inadecuadas e incluso pésimas para la preservación de fauna y flora marina. Lo anterior indica que factores como los nutrientes y los coliformes provenientes del mal manejo de aguas residuales y desechos de origen antrópico han deteriorado la calidad de las aguas.

Tabla 8.4. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PF} en el las zonas del departamento de Sucre en el periodo desde el 2013 al 2016.

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2013	Golfo Afuera				92%	8%
	San Onofre		13%	13%	75%	
	Tolú-Coveñas		5%	18%	73%	5%
2014	Golfo Afuera			8%	58%	33%
	San Onofre				88%	13%
	Tolú-Coveñas		14%	5%	71%	10%
2015	Golfo Afuera				90%	10%
	San Onofre			25%	75%	
	Tolú-Coveñas		15%	10%	75%	
2016	Golfo Afuera				60%	40%
	San Onofre		25%	25%	50%	
	Tolú-Coveñas	6%	6%	13%	63%	12%

8.3 CALIDAD DE SEDIMENTOS

En los sedimentos analizados en la ciénaga La Caimanera los niveles de plaguicidas e hidrocarburos totales estuvieron por debajo de los límites de cuantificación de las técnicas analíticas. Sin embargo, debido a que en las zonas marino costeras del departamento de Sucre, especialmente en la zona de Golfo Afuera, transitan tanto embarcaciones menores como buques de transporte de hidrocarburos, se recomienda establecer nuevos puntos de muestreo que permitan mostrar resultados y conclusiones mas contundentes respecto a la presencia de este tipo de contaminantes. Adicionalmente, es importante recalcar que en años anteriores las zonas de golfo Afuera y el corredor Tolú-Coveñas se han visto asociadas a eventos de derrame de hidrocarburos y aguas de sentina ([INVEMAR, 2014b](#); [2014c](#)) lo cual justifica aún más la necesidad de fortalecimiento en el análisis de hidrocarburos al interior del Golfo de Morrosquillo.

Por otra parte, aunque se detectaron leves concentraciones de metales pesados en sedimentos (cromo, cobre, zinc, hierro y mercurio) estas no superaron las referencias para efectos probables en la biota en sedimentos marinos propuestas por la NOAA y son niveles atribuibles a la quema de combustibles fósiles de las lanchas y botes que circulan por el golfo (Tabla 8.5; [Buchman, 2008](#)).

Tabla 8.5. Concentraciones de metales en sedimentos de la estación Ciénaga la Caimanera del departamento de Sucre, en octubre de 2016 y julio de 2017. ND: No Disponible. *Valor de referencia PEL para sedimentos marinos ([Buchman, 2008](#)).

Ciénaga La Caimanera				
Metales Pesados	Unidades	Muestreo octubre-2016	Muestreo julio-2017	Valores Referencia PEL
Plomo	µg/g	6,74	6,66	112
Cadmio	µg/g	<0,5	<0,5	4,2
Cromo	µg/g	34,9	25,4	160
Cobre	µg/g	8,82	10,3	108
Zinc	µg/g	35,9	50,7	271
Níquel	µg/g	6,61	5,83	42,8
Hierro	mg/g	16,4	16,3	ND
Mercurio	ng/g	27,0	32,2	700

8.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ El cálculo del ICAM_{PF} muestra que la calidad de agua en algunas estaciones de las zonas de San Onofre y el corredor Tolú-Coveñas, tanto en octubre de 2016, como en julio de 2017 estuvo entre pésima e inadecuada. Lo anterior está asociado principalmente al vertimiento de aguas residuales producto del desarrollo de diferentes actividades socioeconómicas, entre las cuales se destaca el turismo. Sin embargo, en el caso del corredor Tolú-Coveñas y la zona de Golfo Afuera el número de estaciones en condiciones óptimas aumentó respecto a años anteriores.
- ❖ En todas las zonas de muestreo se presentaron estaciones con una alta contaminación microbiológica por CTT y CTE. En el caso de las playas ubicadas en las zonas hoteleras, los ecosistemas estuarinos y los cuerpos de agua dulce, estos valores llegaron a superar los límites recomendados para uso recreativo y contacto primario. Debido a su importancia turística y comercial, resulta de gran importancia monitorear los sistemas de saneamiento y descarte de aguas residuales asociados.
- ❖ Las aguas marinas y costeras del departamento de Sucre no presentan contaminación por hidrocarburos del petróleo ya que ninguno de los resultados superó los valores de referencia establecidos por la [UNESCO \(1984\)](#) para aguas contaminadas.
- ❖ Si bien los sedimentos analizados en la estación Ciénaga la Caimanera demostraron no presentar contaminación por metales pesados e hidrocarburos, debido al desarrollo de las actividades de explotación pesquera y petrolera que se llevan a cabo en la zona, y a los antecedentes de derrames de hidrocarburos que se han presentado en años anteriores, es recomendable consolidar nuevas estaciones de monitoreo enfocadas en la evaluación de estos contaminantes.
- ❖ Se detectó la presencia de los plaguicidas Metil Paration y Clordano, en el agua superficial de las estaciones ciénaga la Caimanera y Matatigre, respectivamente. Es importante continuar el monitoreo de estos plaguicidas ya que, debido a su alta toxicidad, estos son compuestos que presentan una regulación especial por la ley colombiana.
- ❖ Los niveles de Cu, Fe, Ni, Pb y Zn, en las aguas marino costeras del departamento de Sucre no representan riesgo de contaminación ya que se encuentran por debajo de los valores de referencia establecidos internacionalmente.

CÓRDOBA

Victoria Andrea Castillo-Olaya y Mónica Rocío Bayona-Arenas



Bahía de Cispata, Córdoba. Foto: Ostin Garcés.

EQUIPO TÉCNICO CVS

Rafael Espinosa - Profesional Especializado División de Calidad Ambiental
Albeiro Arrieta – Subdirector de Gestión Ambiental
María Luisa Sánchez Banda – Bióloga, División de Calidad Ambiental

9. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

El departamento de Córdoba tiene una superficie aproximada de 23.980 km², presenta un sistema marino costero formado por ciénagas, estuarios, quebradas, islas e islotes que definen una biodiversidad característica para el área, además de la presencia de diferentes ecosistemas estratégicos ([IDEAM et al., 2007](#)). En este departamento predomina un clima cálido tropical húmedo con temperatura promedio anual de 28 °C, precipitaciones de 1200 mm/año y periodos marcados de lluvia y sequía. De acuerdo con el [DANE \(2017\)](#), en el 2016 la población costera aproximada era de 146.481 habitantes.

Sus actividades económicas principales son la ganadería, agricultura, maricultura y la minería, las cuales dependen directamente del régimen de lluvias en la región porque determina la organización productiva, esquemas de asentamiento, sistemas de transporte, apropiación de recursos, los ciclos de cultivo, el manejo de la ganadería, las necesidades de riego y de drenaje, la presencia de las inundaciones y los desbordes de los ríos y sus afluentes ([Gobernación de Córdoba, 2015](#)).

Desde el año 2001 hasta la actualidad el INVEMAR y la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge – CVS han generado información de calidad de aguas y sedimentos en estaciones localizadas a lo largo de la franja costera, en el marco de la Red de Vigilancia de Calidad de Aguas Marinas y Costeras REDCAM. Adicionalmente, se han realizado estudios para identificar la diversidad de los ecosistemas marino-costeros del departamento de Córdoba y caracterizar las diferentes fuentes de contaminación que estos presentan. En el presente informe se muestran los resultados del monitoreo de la calidad de las aguas en la zona marino-costera realizado en el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017, como un insumo para la gestión del recurso hídrico en el departamento.

9.1 ZONAS DE MONITOREO

La zona costera del departamento de Córdoba cuenta con 18 estaciones de monitoreo, ubicadas en dos zonas (Figura 9.1), de las cuales 14 estaciones se ubican en la zona norte del departamento denominada como **Bahía de Cispata**. Esta zona presenta dos formaciones deltaicas correspondientes a la cuenca baja del río Sinú, la Boca de Tinajones y la bahía de Cispata, las cuales tienen numerosos caños que desembocan en el mar o lagunas costeras y que a su vez presentan un área de extensos bosques de manglar protegidos bajo la figura de Distrito de Manejo Integrado (DMI) debido a su gran importancia ecológica y económica para la región ([INVEMAR et al., 2002](#)). Esta zona tiene ecosistemas que se encuentra bajo presión por las actividades humanas como la pesca artesanal, agricultura, turismo y aprovechamiento forestal, debido a los vertimientos de aguas residuales, y los aportes de residuos sólidos y líquidos, entre otros ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)).

En la zona sur o **Costa occidental**, se encuentran las 4 estaciones restantes. En esta zona se desarrollan actividades económicas como la pesca artesanal, ganadería, minería de canteras, agricultura y turismo, debido a sus playas de arena. Por lo tanto, esta zona está afectada por la descarga o vertimientos de aguas residuales ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)), disposición de residuos sólidos, escorrentía superficial rica en material orgánico, plaguicidas y sólidos suspendidos.

relativa y de la temperatura del ambiente, así como a los vientos débiles y demás características propias del inicio de la época de lluvias que generalmente inicia en agosto (CIOH, 2017b).

Tabla 9.1. Temperatura del agua superficial registrada de las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, durante el periodo de muestreo de 2016 y de 2017. Sin registro por dificultad en acceso.**

Zona	Estación	Octubre 2016		Julio 2017	
		Hora	Temperatura (°C)	Hora	Temperatura (°C)
Costa Occidente	P. Escondido	09:36	29,1	08:18	29,6
	Moñitos	12:49	30,6	11:45	31,3
	P.Venados	14:54	30,8	13:10	31,4
	S. Bernardo	14:31	30,8	13:00	31,1
Bahía de Cispata	Río Sinú	16:12	28,9	08:00	28,3
	F. Cispata	07:53	29,0	07:30	30,2
	F. Tinajones	08:40	29,3	08:00	29,4
	Sinú Tinajones	08:54	29,1	08:30	22,5
	Ostional	10:18	28,6	**	**
	Cantarillo	12:08	31,3	10:05	29,1
	La Loma	12:29	31,1	**	**
	C. Soledad	12:49	31,5	10:20	31,1
	F. Agrotijo	13:30	31,8	11:05	30,5
	P. Rula	13:55	30,8	11:45	30,9
	C. Bahía Cispata	14:13	31,2	11:59	31,3
	P. Bello 1	14:30	30,4	12:21	30,6
	P. Bello 2	14:35	30,5	12:24	30,8
	P. Blanca	11:20	30,4	11:35	33,1

Durante el muestreo de octubre 2016, se registraron salinidades entre 0 y 32; mientras que durante el muestreo de 2017, la salinidad osciló entre 0 y 29,7 (Figura 9.2). Las aguas de la zona Costa Occidental, se clasifican como marinas (Knox, 2001) y se encuentran dentro de los rangos históricos de la REDCAM (INVEMAR, 2017a). En la Bahía de Cispata durante el segundo semestre de 2016 se registraron salinidades entre 0 y 31 (Figura 9.2); las estaciones ubicadas en el río Sinú y las lagunas Ostional y Cantarillo, se clasifican como aguas dulces (0 – 0,5; Knox, 2001); la boca Sinú Tinajones y las lagunas costeras mas externas donde se encuentran las estaciones La Loma, ciénaga Soledad y frente Agrotijo, se clasifican como aguas estuarinas (0,6 – 17); y las estaciones frente Cispata, frente Tinajones, Punta Rula, centro Bahía Cispata, puerto Bello 1, puerto Bello 2 y playa Blanca, como aguas marinas (17- 38; Knox, 2001). En julio de 2017, debido al incremento de los aportes fluviales, la salidad disminuyó en todas las estaciones. Esto muestra la gran dinámica de la zona que depende de los aportes temporales del río Sinú y que favorece la alta diversidad y el mantenimiento de los manglares.

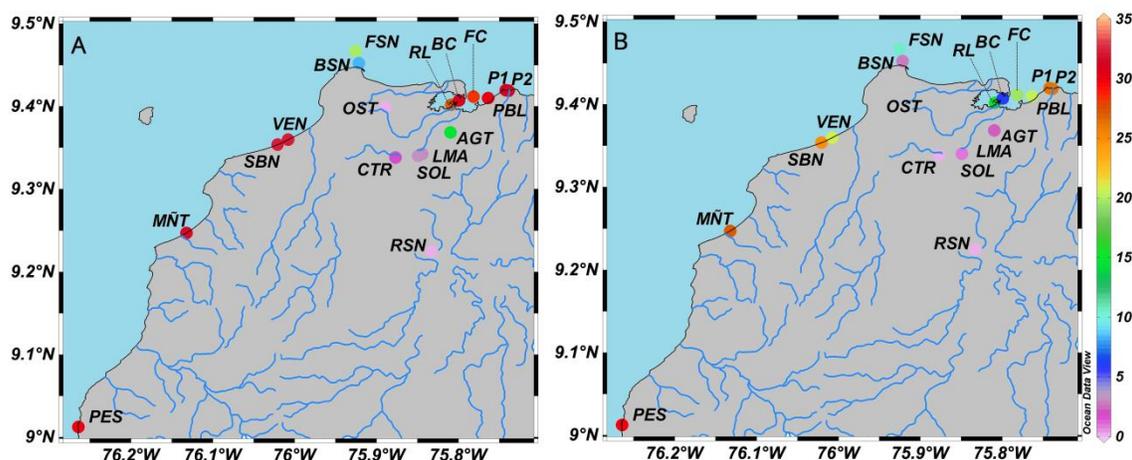


Figura 9.2. Salinidad del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, en los muestreos de A) octubre de 2016 y B) julio de 2017. PES: Puerto Escondido, MNT: Moñitos, SBN: San Bernardo, RSN: río Sinú, CTR: Cantarillo, VEN: playa Venados, OST: Ostional, BSN: Sinú – Tinajones, FSN: frente Tinajones, SOL: Soledad, LMA: La Loma, AGT: Agrotijo, RL: Punta Rula, BC: C. Bahía de Cispata, FC: frente Bahía de Cispata, P1: puerto Bello 1, P2: puerto Bello 2, PBL: playa Blanca.

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) registradas en la zona de la Costa Occidental, en los dos períodos de muestreo estuvieron por encima del criterio de calidad para la preservación de la flora y fauna (4,0 mg de O₂/L) establecido en el Decreto 1594 de 1984; mientras que en la zona de la bahía de Cispata el 36% de las estaciones presentaron concentraciones por debajo del criterio de calidad (Figura 9.3), correspondientes a las estaciones ciénaga Soledad, frente Agrotijo, Punta Rula y centro bahía Cispata durante el primer semestre de 2017. Esto se encuentra asociado con el incremento del caudal del río Sinú en el mes de julio, debido al aumento de las precipitaciones que trae consigo mayor carga orgánica, resuspensión de sedimentos, generando tasas de respiración más altas y por ende un alto consumo de OD (Ramírez y Viña, 1998), especialmente en los cuerpos de agua lénticos como la ciénaga Soledad y la estación frente Agrotijo. La estación ciénaga Ostional presentó concentraciones hipóxicas durante el muestreo realizado en 2016 (1,93 mg de O₂/L), valor más bajo reportado históricamente, lo que muestra un deterioro drástico en la calidad del agua del sistema. En julio de 2017, debido a dificultades de acceso, no fue posible tomar mediciones en las estaciones Ostional y La Loma (Figura 9.3).

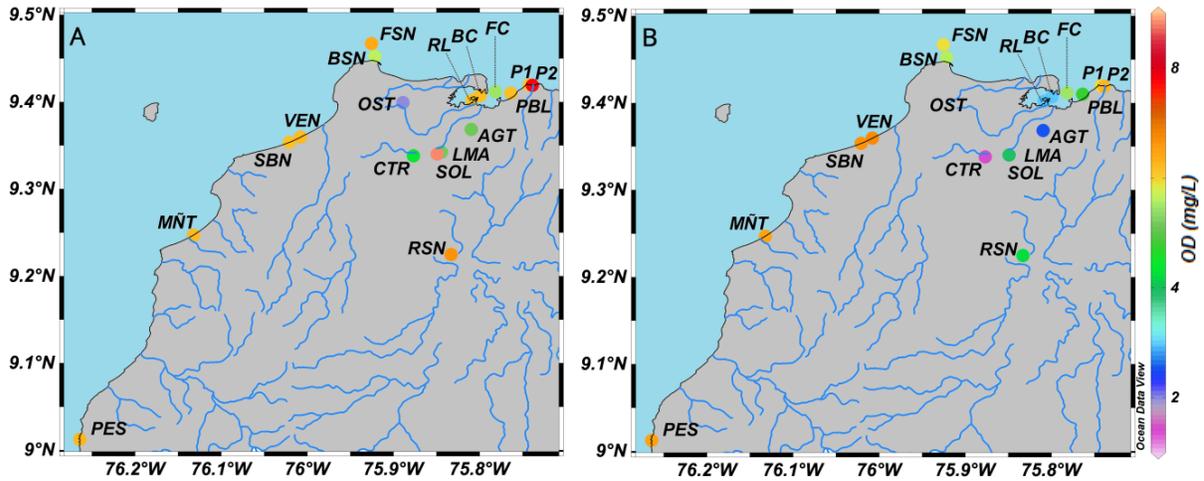


Figura 9.3. Oxígeno disuelto (OD) en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, en los muestreos de A) octubre de 2016 y B) julio de 2017. PES: Puerto Escondido, MÑT: Moñitos, SBN: San Bernardo, RSN: río Sinú, CTR: Cantarillo, VEN: playa Venados, OST: Ostional, BSN: Sinú – Tinajones, FSN: frente Tinajones, SOL: Soledad, LMA: La Loma, AGT: Agrotijo, RL: Punta Rula, BC: C. Bahía de Cispata, FC: frente Bahía de Cispata, P1: puerto Bello 1, P2: puerto Bello 2, PBL: playa Blanca.

Teniendo en cuenta los promedios históricos de concentración de oxígeno disuelto por zona, se estableció que la zona Costa Occidental ha mantenido condiciones apropiadas para la preservación de la biota acuática (Figura 9.4), con concentraciones superiores a los 4,0 mg O₂/L (MinSalud, 1984). En términos generales, no se presentan diferencias entre los muestreos, con excepción de los años 2004, 2011 y 2012, que están asociadas a la variabilidad climática interanual, vista como los fenómenos de El Niño y La Niña (IDEAM, 2017d) que afectan las precipitaciones y por ende los aportes continentales de materia orgánica y nutrientes, entre otros.

En la bahía de Cispata se han presentado concentraciones que no favorecen la preservación de la flora y fauna acuática, especialmente en los años 2007, 2009, 2010 y 2012, así como también valores muy altos de oxígeno (>10 mg O₂/L) que son indicativos de procesos de eutroficación en los sistemas. Al ser una zona que depende estrechamente de las dinámicas entre los aportes fluviales y marinos, estas variaciones están asociadas a la entrada de materia orgánica y nutrientes, condiciones intrínsecas de los cuerpos de agua como la profundidad, área y a las precipitaciones que generan mezcla en la columna del agua y resuspensión de sedimentos (Ramírez y Viña, 1998; Roldán y Ramírez, 2008).

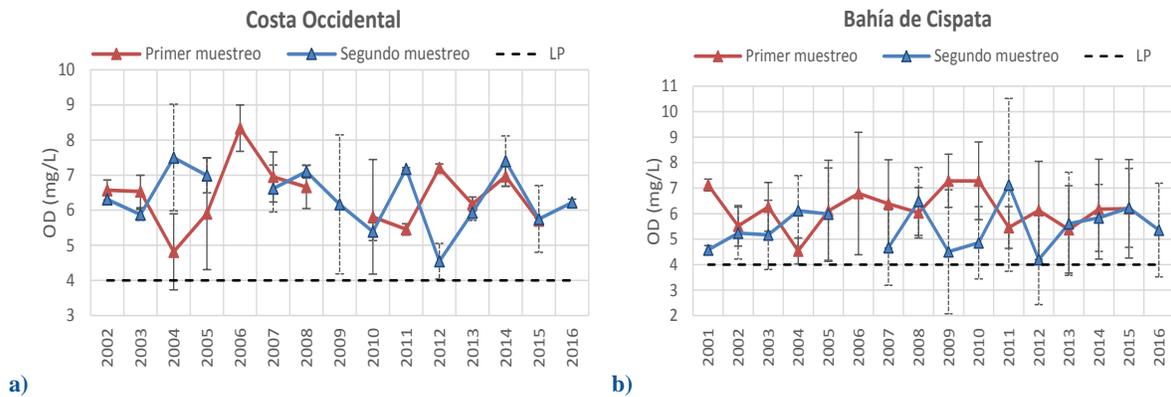


Figura 9.4. Registros históricos promedio de oxígeno disuelto en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Córdoba, en el primer semestre y segundo semestre de los años entre 2001 y 2016. La línea negra punteada en 4,0 mg de O₂/L indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

El pH durante los muestreos de octubre 2016 y julio 2017 osciló entre 6,82 y 8,48 (Figura 9.5), encontrándose los valores más bajos en el segundo muestreo, asociado a las mayores tasas de respiración, por aportes de materia orgánica. Los valores más bajos, están asociados a los aportes de aguas dulces que en general son más ácidas. Cabe destacar que todos los valores se encontraron dentro de los rangos establecidos para la preservación de biota marina en aguas marinas, estuarinas y dulces (MinSalud, 1984).

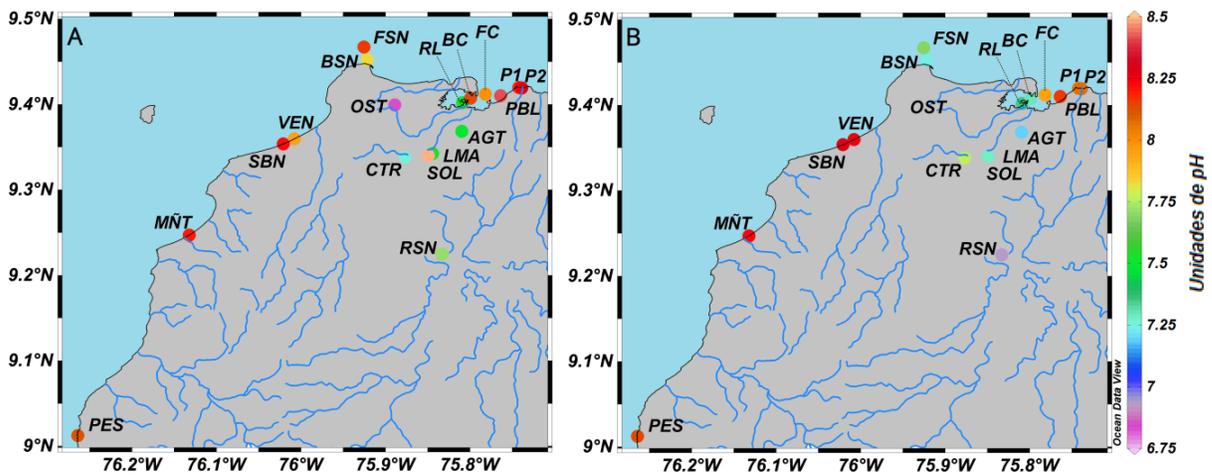


Figura 9.5. Valores de pH del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, en los muestreos de A) octubre de 2016 y B) julio de 2017. PES: Puerto Escondido, MNT: Moñitos, SBN: San Bernardo, RSN: río Sinú, CTR: Cantarillo, VEN: playa Venados, OST: Ostional, BSN: boca río Sinú, FSN: frente Tinajones-Tinajones, SOL: Soledad, LMA: La Loma, AGT: Agrotijo, RL: Punta Rula, BC: C. Bahía de Cispata, FC: frente Bahía de Cispata, P1: puerto Bello 1, P2: puerto Bello 2, PBL: playa Blanca.

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) estuvieron entre 11,2 y 175 mg SST/L. En la mayoría de las estaciones, especialmente en la bahía de Cispatá, las concentraciones estuvieron por debajo de 25 mg SST/L, valor propuesto por [CONAGUA \(2015\)](#) para aguas con excelente calidad. No obstante, se registran estaciones con aguas en buena calidad, con concentraciones entre 25 y 75 mg SST/L; con calidad aceptable entre 75 mg/L y 150 mg/L; y aguas contaminadas, con concentraciones por encima de 150 mg/L, en especial las asociadas con el río Sinú y las ubicadas en la Costa Occidental. Altas concentraciones de sólidos en suspensión en los ecosistemas marino-costeros, aumentan la turbidez, repercutiendo en la productividad primaria ([Ohrel y Register, 2006](#)). El incremento de los SST está asociado con los aportes de aguas residuales domésticas y la minería de canteras existentes en los municipios de Puerto Escondido, San Bernardo del Viento y Moñitos. Esta actividad de extracción de material para la construcción genera la suspensión de partículas en el aire, que por eventos de lluvias, lavado de suelos y aporte de tributarios, tienen como destino final el mar ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)).

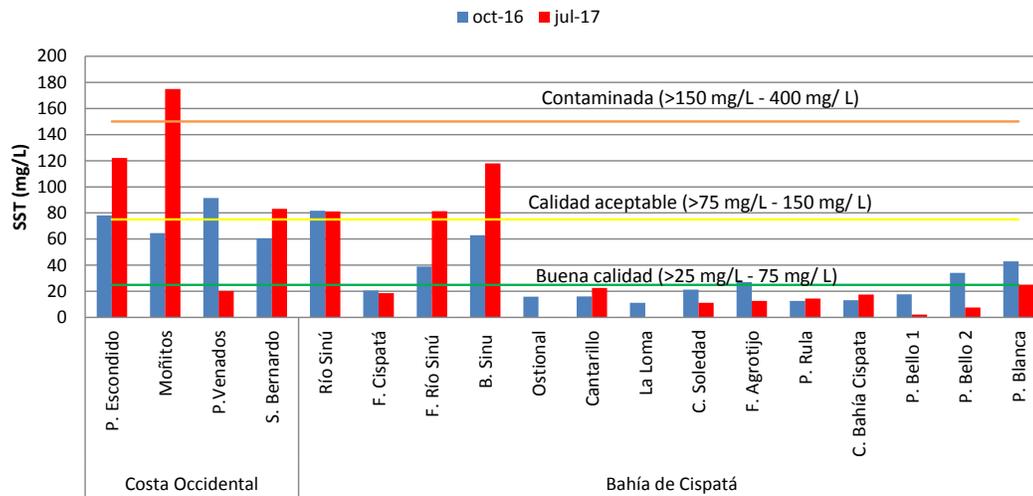


Figura 9.6. Concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en las aguas superficiales de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, medidas en los muestreos realizados durante segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Los promedios históricos de SST por zona registrados por la REDCAM se muestran en la Figura 9.7. En la Costa Occidental se han presentado valores que califican a las aguas con calidad entre buena y aceptable, con una excepción del segundo semestre del año 2012, cuando se observa un aumento drástico de las concentraciones de SST, calificando a las aguas como contaminadas, lo cual se encuentra estrechamente relacionado con lo observado en el OD que disminuyó en el mismo período de muestreo. Estos resultados son consecuencia del incremento de los aportes continentales producto del incremento de la pluviosidad por el fenómeno de La Niña del año 2012, considerado como uno de los más fuertes del siglo XXI ([IDEAM, 2017b](#)). En la zona bahía de Cispatá, históricamente las concentraciones de SST han sido menores, lo cual refleja que si bien hay aportes significativos de material del río Sinú, las dinámicas hidrológicas en las lagunas costeras permiten un flujo constante y baja acumulación en los cuerpos de agua. Es importante resaltar que en la Bahía de Cispatá, no se observó el aumento drástico de los SST, producto de los aportes continentales por el fenómeno de La Niña; solo hasta el año 2013 se presentó un

aumento considerable asociado a El Niño débil ocurrido ese año. Esto evidencia la regulación que se realiza sobre el caudal del río Sinú aguas arriba en la Hidroeléctria URRRA E.S. P. que no favorece la aparición de picos de inundación o períodos de retorno naturales de la cuenca.

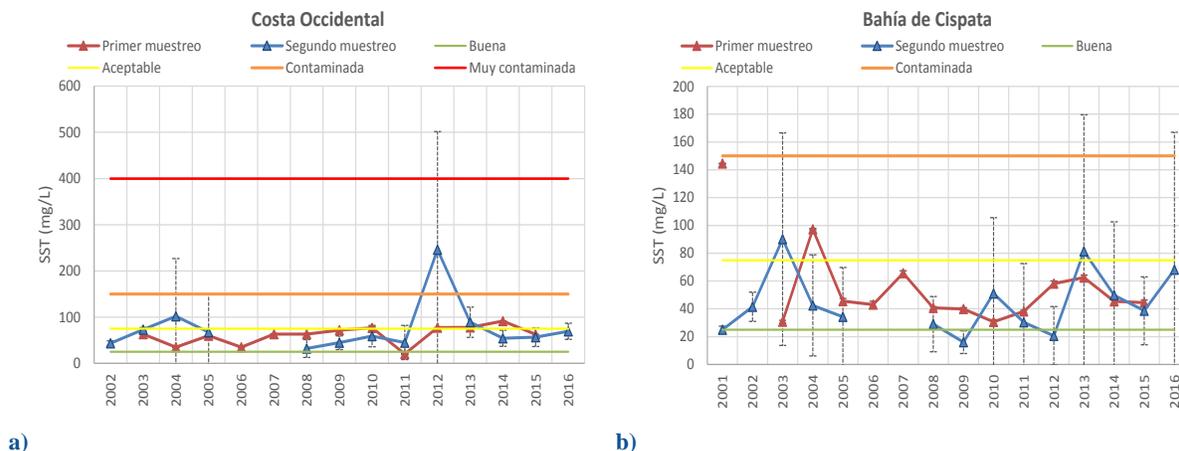


Figura 9.7. Promedios históricos de SST por zona REDCAM en el departamento de Córdoba. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos, amonio ($N-NH_4^+$), nitritos ($N-NO_2^-$), nitratos ($N-NO_3^-$) y ortofosfatos ($P-PO_4^{3-}$), se muestran en la Figura 9.8. En el muestreo de octubre 2016, en la zona de Costa occidental se registraron concentraciones de amonio entre $<3,1 \mu g N-NH_4^+/L$ y $101,5 \mu g N-NH_4^+/L$; en la estación San Bernardo la concentración de amonio estuvo por debajo del límite de cuantificación y en la estación Puerto Escondido se presentó la mayor concentración. En el caso de la zona de bahía de Cispata, las concentraciones de amonio oscilaron entre $<3,1 \mu g N-NH_4^+/L$ y $49,0 \mu g N-NH_4^+/L$. En el muestreo de 2017, las mayores concentraciones de amonio se registraron en la estación F. Agrotijo, bahía de Cispata ($136 \mu g N-NH_4^+/L$) y en la estación P. Escondido, en la zona costa occidental ($16,1 \mu g N-NH_4^+/L$). Este compuesto nitrogenado proviene de aguas servidas domésticas que son vertidas directamente sobre las costas o en los afluentes que descargan sus aguas en el mar; de la escorrentía superficial de actividades agropecuarias que se desarrollan en el Distrito de Manejo Integrado de Cispata – DMI; y de la materia orgánica producida en los ecosistemas de manglar del todo el DMI.

Las estaciones río Sinú y frente Agrotijo presentaron las concentraciones más altas de nitritos ($N-NO_2^-$) durante el muestreo realizado en octubre de 2016, con valores de $7,09 \mu g N-NO_2^-/L$ y $3,02 \mu g N-NO_2^-/L$, respectivamente, los cuales son bajos, si se comparan con otros departamentos del Caribe. La estación P. Escondido, en la zona Costa Occidental, fue la única que presentó una concentración superior al límite de cuantificación ($<2,11 \mu g N-NO_2^-/L$). En el muestreo realizado en julio de 2017, las concentraciones de nitritos aumentaron en la mayoría de las estaciones, principalmente en las estaciones frente Cispata ($7,59 \mu g/L$), punta Rula ($6,77 \mu g/L$), playa Blanca ($6,25 \mu g/L$) y Moñitos ($6,21 \mu g/L$), ubicadas en la zona de Bahía de Cispata. Al ser compuestos intermedios en la oxidación del nitrógeno, los nitritos son evidencia de vertimientos recientes de aguas residuales o con alta carga de materia orgánica, por lo cual su presencia en estos sistemas se asocia con el vertimiento de aguas residuales, provenientes de viviendas, cabañas turísticas y complejos turísticos presentes en la zona.

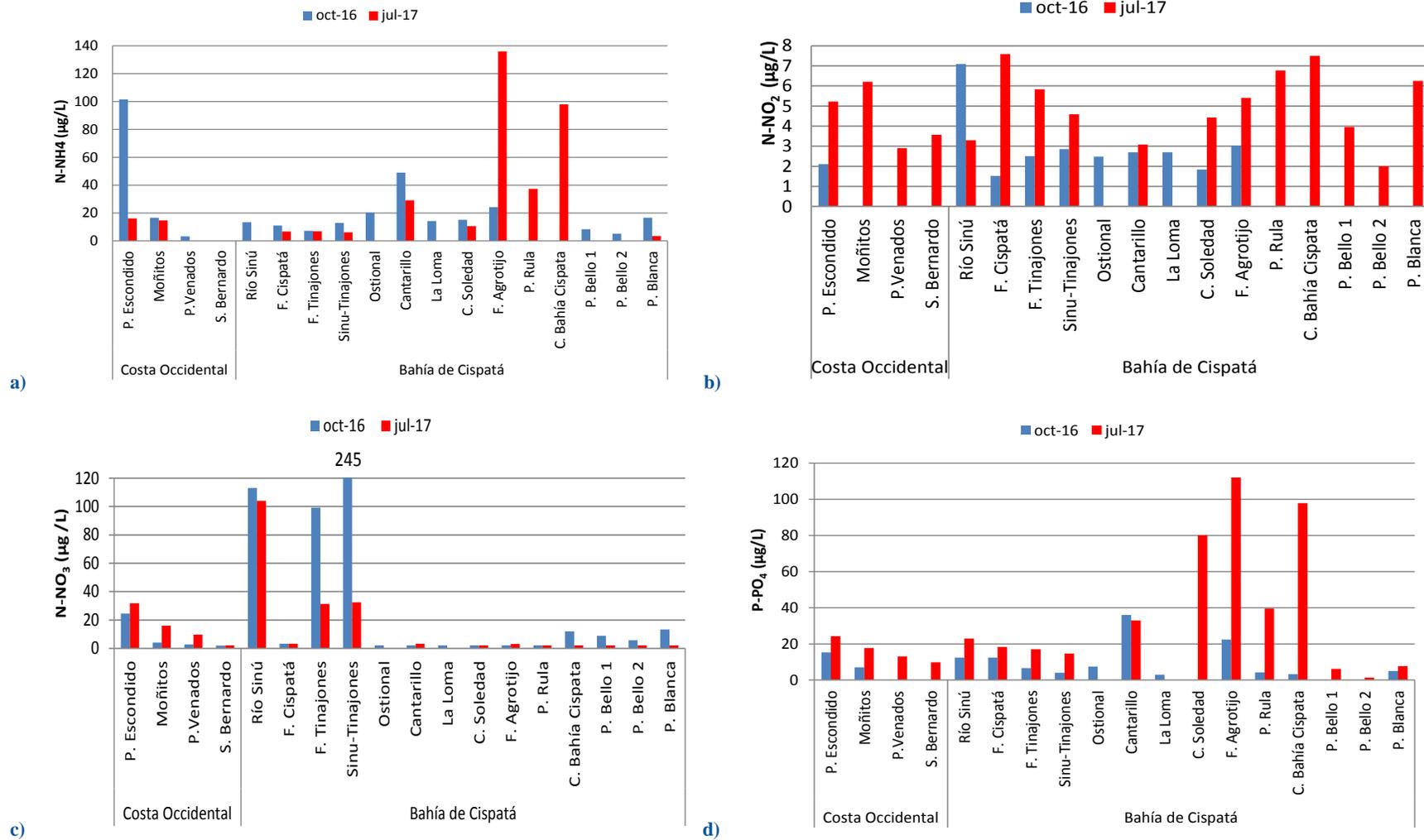


Figura 9.8. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitritos (N-NO₂⁻), c) nitratos (N-NO₃⁻) y d) ortofosfatos (P-PO₄⁻³), medidos en los muestreos realizados durante el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017 en las estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Córdoba.

Las concentraciones de nitratos estuvieron entre menores al límite de cuantificación ($< 2,1 \mu\text{g N-NO}_3^-/\text{L}$) y $245 \mu\text{g N-NO}_3^-/\text{L}$, siendo las estaciones Sinú Tinajones, río Sinú y frente Tinajones las que mostraron concentraciones más altas en los dos muestreos (Figura 9.8). Estos resultados se relacionan con las actividades agropecuarias que se desarrollan en su ronda

La mayor concentración de ortofosfatos en el muestreo de octubre de 2016 fue $36,0 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$ y en julio de 2017 de $112,0 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$, concentraciones medias en comparación con otros departamentos del Caribe colombiano. La estación con mayor concentración en Costa occidental en 2016 y 2017 fue P. Escondido con valores de $15,3 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$ y $24,2 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$, respectivamente. En la zona Bahía de Cispata, las concentraciones más altas en julio 2017, se registraron en la estación Cantarillo ($36,0 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$) seguida de la estación F. Agrotijo ($22,4 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$). La fuente de estos nutrientes esta asociada con los cultivos que se encuentran a lo largo del delta del río Sinú, conectados mediante canales de desagüe que recorren toda su extensión y desembocan como fuentes puntales al río Sinú y a las ciénagas ubicadas en su delta.

Los coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) medidos en aguas superficiales, se presentan en la Tabla 9.2. Tanto en octubre de 2016, como julio de 2017, en la Costa Occidental, donde se encuentran playas de alto interés turístico para el departamento, en las estaciones Puerto Escondido y Moñitos, se presentaron concentraciones de CTT y CTE por encima de 1.600.000 NMP/100 mL y de 92.000 NMP/100 mL, respectivamente, indicando que las aguas superficiales no son aptas para las actividades de contacto primario (natación y buceo) y secundario según la normativa colombiana (MinSalud, 1984). En el caso de Puerto Escondido esta situación se presentó en el segundo muestreo del año 2007, en donde se alcanzaron valores de 160.000, lo cual fue producto de las inundaciones en varios municipios del departamento por crecientes del río Sinú (Organización Panamericana de la Salud, 2007) que incidió en los aportes de aguas residuales provenientes de la población local y otras poblaciones ribereñas. En la zona de bahía de Cispata también se evidenció alta presencia de CTT y CTE, producto de los aportes del río Sinú y de las poblaciones que viven en su ronda. Es necesario frente a estas concentraciones realizar seguimientos mas frecuentes a la calidad de las aguas en donde se desarrolle el turismo de sol y playa, pues representa un riesgo de salud pública para los bañistas y atenta contra el desarrollo de este pilar económico en la región.

Tabla 9.2. Concentraciones de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, en los muestreos de 2016 y 2017. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de MinSalud (1984).

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		oct-16	jul-17	Rango histórico	Percentil 90	oct-16	jul-17	Rango histórico	Percentil 90
Costa Occidental	P. Escondido	>160.000	79.000	230-240.000	105.600-	>160.000	17.000	20 - 16.000	13.000
	Moñitos	92.000	1.600.000	1,8-24.000	16.000-	92.000	79.000	1,8 - 160.000	3.480-
	P.Venados	540	700	2-3.600	2.190-	70	170	2 - 490	228-
	S. Bernardo	540	330	1,8-16.000	1.920	21	45	1-16.000	1.600
Bahía de Cispata	Río Sinú	35.000	54.000	1.700-9.400.000	350.000	35.000	4.900	200-1.400.000	300.000
	F. Tinajones	3.500	35.000	68-16.000	9.200	3.500	13.000	63-9200	9200
	Sinú - Tinajones	16.000	17.000	920-160.000	43.500-	9.200	3.300	240 - 33.000	2.472-
	C. Soledad	9.200	920	23-20.000	7.400	210	540	4,5-5900	463

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		oct-16	jul-17	Rango histórico	Percentil 90	oct-16	jul-17	Rango histórico	Percentil 90
	C. Bahía Cispata	33	16.000	9,3-22.000	14.000	17	330	6,1-22000	14.000
	P. Bello 1	79	130	240-2.420	2.410	2	7	2-517	517
	P. Bello 2	33	240	2-1.733	1.640	8	79	2-548	548
	P. Blanca	540	940	1,8-14.000	2.400	49	22	1-14.000	2.400
Límite permisible contacto primario		1000				200			
Límite permisible contacto secundario		5000				-			

En relación a los hidrocarburos disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) (Figura 9.9), las concentraciones oscilaron entre menor al límite de cuantificación de la técnica analítica del LABCAM (<0,07 µg HPDD/L) y 1,73 µg HPDD/L en la estación frente Tinajones. La presencia de estos compuestos se atribuye al uso de combustibles fósiles en embarcaciones y a los aportes del río Sinú. Cabe destacar que estas concentraciones, están por debajo del valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas (UNESCO, 1984; Acuña-González *et al.*, 2004).

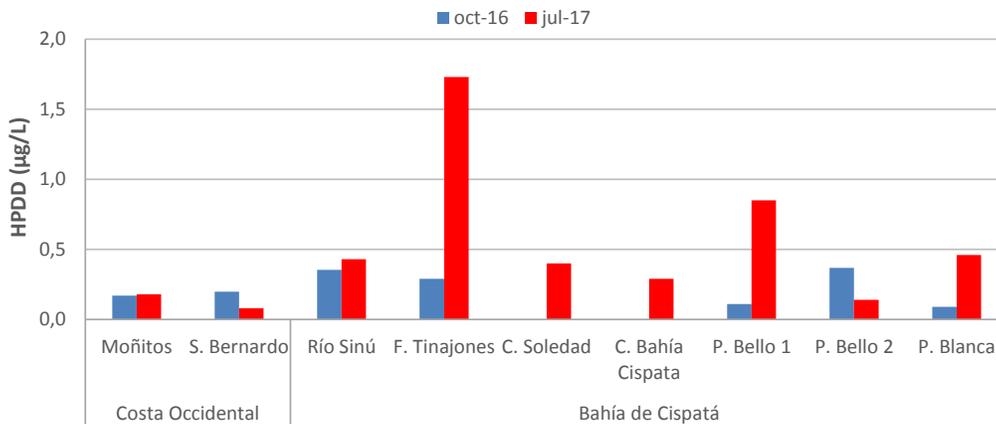


Figura 9.9. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) en las estaciones REDCAM en octubre 2016 y julio 2017.

En relación a los plaguicidas organoclorados y organofosforados, no se presentaron concentraciones cuantificables en ninguno de los muestreos efectuados.

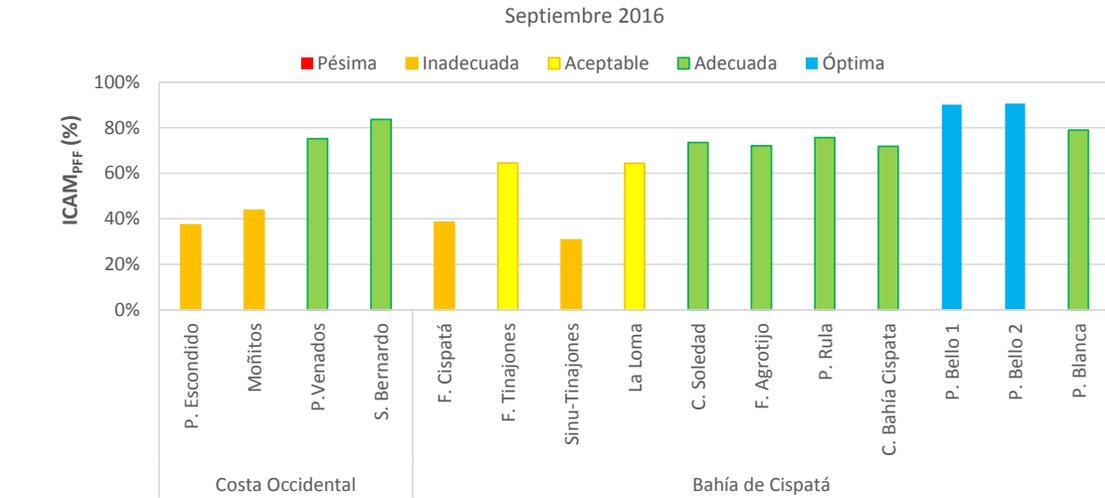
En el segundo semestre de 2016, los metales pesados plomo (Pb), zinc (Zn), níquel (Ni), estuvieron por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica utilizada (Tabla 9.3); el cobre (Cu) alcanzó concentraciones por encima del valor de referencia para efectos crónicos en agua marina y estuarina en las estaciones río Sinú (1,66 µg Cu/L), San Bernardo y frente Tinajones (1,46 µg Cu/L); en cuanto a las concentraciones de hierro (Fe) ninguna superó los valores de referencia para efectos crónicos en agua marina ni en agua dulce. En julio de 2017, en las estaciones Cantarillo, ciénaga Soledad, F. Agrotijo y C. Bahía de Cispata, se registraron concentraciones de Fe por encima de los límites de referencia para efectos crónicos en agua marina y estuarina; las concentraciones de Zn estuvieron por debajo del límite de referencia para efectos crónicos tanto en agua marina como en agua dulce; y los metales Pb, Cu y Ni, estuvieron por debajo de los límites de cuantificación de la técnica analítica (Tabla 9.3).

Tabla 9.3. Concentraciones de metales pesados medidos en aguas superficiales de las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba en los muestreos realizados durante 2016 y 2017. ** corresponde a las estaciones que no fueron visitadas en el año 2017 por problemas de acceso. Las estaciones sombreadas corresponden a aguas dulces.

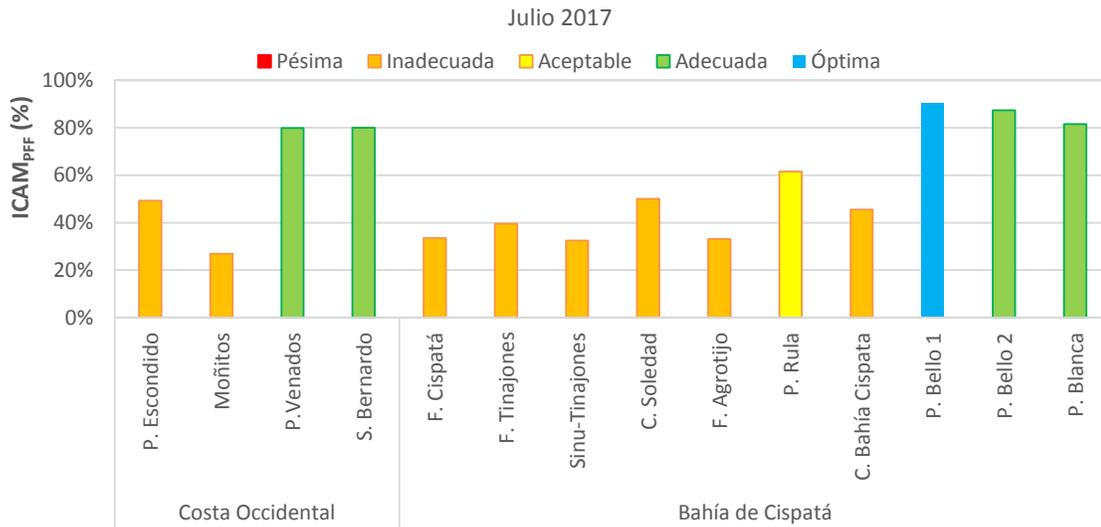
Zona	Estación	Octubre de 2016					Julio de 2017				
		Pb	Cu	Zn	Ni	Fe	Pb	Cu	Zn	Ni	Fe
		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Costa Occidental	P. Escondido	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	12,1	<3,1	<0,9	11,8	<1,0	28,4
	Moñitos	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	19,4	<3,1	<0,9	10,8	<1,0	30,4
	S. Bernardo	<3,1	1,46	<6,9	<1,0	7,32	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	14,0
Bahía de Cispata	Río Sinú	<3,1	1,66	<6,9	<1,0	85,3	<3,1	1,69	22,7	<1,0	189
	Frente Tinajones	<3,1	1,46	<6,9	<1,0	7,89	<3,1	<0,9	16,7	<1,0	25,1
	Ostional	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	55,7	**	**	**	**	**
	Cantarillo	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	48,0	<3,1	<0,9	8,39	<1,0	144
	La Loma	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	9,24	**	**	**	**	**
	C. Soledad	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	<4,7	<3,1	<0,9	7,12	<1,0	88,6
	F. Agrotijo	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	11,3	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	203
	P. Rula	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	<4,7	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	47,3
	C. Bahía Cispata	<3,1	1,26	<6,9	<1,0	<4,7	<3,1	<0,9	7,03	<1,0	118
	P. Bello 1	<3,1	1,06	<6,9	<1,0	<4,7	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	11,0
	P. Bello 2	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	<4,7	<3,1	<0,9	<6,9	<1,0	18,4
Referencia Efectos crónicos agua marina		8,1	1,3	81	8,2	50	8,1	1,3	81	8,2	50
Referencia Efectos crónicos agua dulce		2,5	9	120	52	350	2,5	9	120	52	350

9.2.1 Calidad del agua de acuerdo al ICAM_{PFF}

En el segundo semestre de 2016, la calidad de las aguas marinas y estuarinas del departamento de Córdoba con fines de preservación de flora y fauna acuática fue óptima en el 13% de las estaciones, adecuada en el 46%, inadecuada en el 26% y aceptable en el 13%. Las condiciones inadecuadas y aceptables están asociadas a las altas cargas de nutrientes que provienen de las actividades agropecuarias que se realizan en el delta del río Sinú y el incremento de coliformes, producto de las descargas directas de aguas residuales. En julio de 2017, la presencia de lluvias por encima de los valores normales, influyó en el deterioro de la calidad del agua, debido al mayor aporte de fuentes terrestres continentales, es así que sólo se presentó una estación con óptima calidad del agua y cerca del 57% de presentaron condiciones inadecuadas.



a)



b)

Figura 9.10. I Calidad de las aguas en las estaciones marinas y estuarinas de la REDCAM en el departamento de Córdoba en los muestreos de 2016 y 2017, evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

La Tabla 9.4, muestra los valores históricos por año del ICAM_{PFF} en cada zona del departamento. Sólo en los años 2014 y 2016 se presentaron condiciones óptimas para la flora y fauna marino costera, sin embargo, la gran mayoría de estaciones han mantenido condiciones adecuadas, lo cual soporta la biodiversidad del departamento, en especial la del DMI Cispata y Tinajones. Se resalta el deterioro de la calidad de las aguas en la Costa Occidental, ya que han aumentado las estaciones en condiciones Inadecuadas de 13% a 38% entre 2014 y 2016. En bahía de Cispata la tendencia ha sido inversa, con mayor presencia de aguas en calidad adecuada y óptima (Tabla 9.4)

Tabla 9.4. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PF} en las zonas del departamento de Córdoba en el periodo desde el 2013 al 2016.

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2013	Costa Occidental		13%	37%	50%	
	Bahía de Cispata		24%	38%	38%	
2014	Costa Occidental		10%		90%	
	Bahía de Cispata		8%	23%	65%	4%
2015	Costa Occidental		25%	25%	50%	
	Bahía de Cispata		12%	15%	73%	
2016	Costa Occidental		38%		62%	
	Bahía de Cispata		16%	24%	52%	8%

9.3 CALIDAD DE SEDIMENTOS

En la Tabla 9.5 se presentan las concentraciones de metales pesados cuantificados en las muestras de sedimentos superficiales. Durante los dos muestreos (octubre de 2016 y julio de 2017), el cadmio (Cd) estuvo por debajo del límite de cuantificación del método analítico; las concentraciones reportadas para los demás metales evaluados, en ninguna estación superaron los valores de referencia para efectos probables en la biota, propuestos por la NOAA ([Buchman, 2008](#)).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y los plaguicidas organoclorados y organofosforados, en todas las estaciones y durante los dos muestreos, estuvieron por debajo del límite de cuantificación de las técnicas analíticas usadas en el LABCAM.

Tabla 9.5. Concentraciones de metales pesados medidos en sedimentos de las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba en los muestreos realizados durante 2016 y 2017. ND: Referencia no disponible.

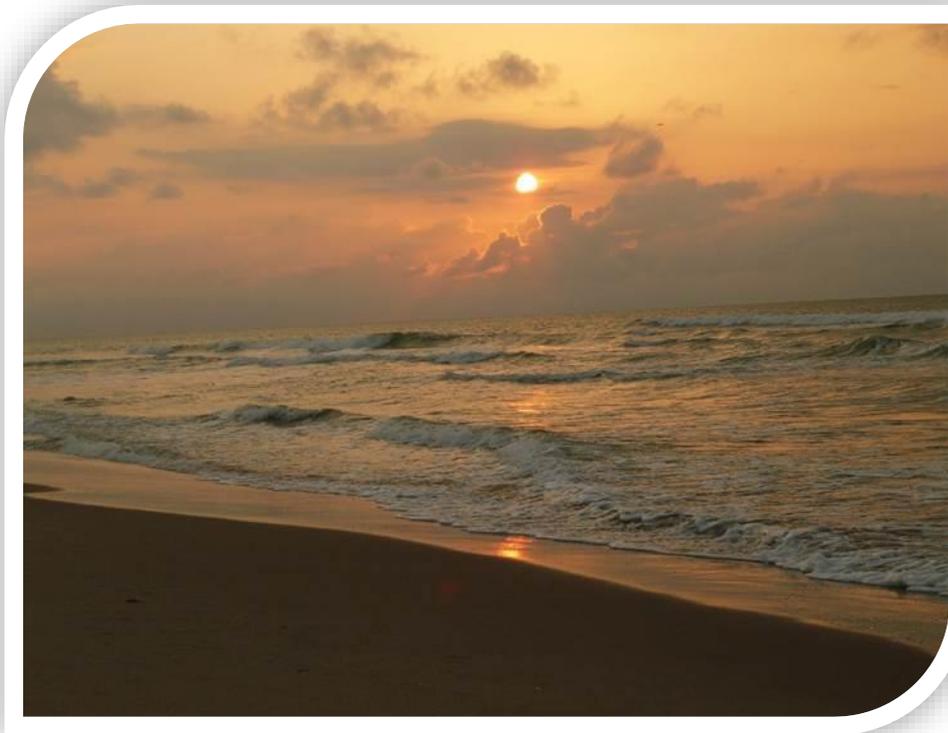
Metales	Unidades	Octubre 2016	Julio 2017		Referencia PEL* sedimentos marinos (µg/g)	Referencia PEL* sedimentos de agua dulce (µg/g)
		F. Tinajones	Frente Tinajones	Sinú - Tinajones		
Plomo	µg Pb/g	14,4	10,7	10,6	112	91,3
Cadmio	µg Cd/g	<0,5	<0,5	<0,5	4,2	3,5
Cromo	µg Cr/g	162	101	104	160	90
Cobre	µg Cu/g	72,4	58,8	58,7	108	197
Zinc	µg Zn/g	125	112	108	271	315
Níquel	µg Ni/g	52,3	52,8	48,1	42,8	36
Hierro	mg Fe/g	52,6	4,92	4,76	ND	-
Mercurio	µg Hg/g	0.109	-	-	0,486	0,7

9.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ Las aguas marinas y costeras del departamento de Córdoba presentan condiciones adecuadas para la preservación de flora y fauna, sin embargo están altamente influenciadas por las dinámicas hidrológicas del río Sinú, la presencia de vertimientos de viviendas y complejos turísticos y la presencia de precipitaciones locales y regionales. Se recomienda ejercer control y vigilancia sobre la disposición de aguas servidas sobre el río y en los mares y costas del departamento y seguimiento al cumplimiento de los objetivos de calidad dispuestos para la cuenca del río Sinú en aras de proponer medidas de manejo efectivas de la contaminación en los períodos invernales en la región.
- ❖ La calidad sanitaria de las aguas de interés turístico en Córdoba como las playas de Moñitos y Puerto Escondido no es apta para realizar actividades de recreación, situación que debe ser evaluada para la prestación de servicios turísticos en estos municipios.
- ❖ Tanto en aguas como en sedimentos, no se evidencia contaminación por hidrocarburos, plaguicidas ni metales pesados.

ANTIOQUIA

Paola Sofía Obando Madera



Playa Bobalito, Necoclí. Foto: Jairo Guillermo Vasquez

EQUIPO TÉCNICO CORPOURABÁ

Vanessa Paredes Zuñiga – Directora General
Diana Cuervo Paternina – Director técnico Laboratorio de Aguas
William Bran Castrillón – Responsable de la toma de muestras
Verena Valencia – Responsable de la toma de muestras
Adelaida Pastrana – Responsable área Microbiología
Margarita Alquerque – Analista del área Físicoquímica
Eulicer Cuellar – Analista del área Físicoquímica
Kelis Hinestroza – Coordinadora de asuntos marinos y programa UAC Darién
Jairo Guillermo Vásquez – Contratista

10. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

La zona marino-costera del departamento de Antioquia está conformada por el golfo de Urabá que es catalogado como el accidente costero más grande de Colombia sobre el mar Caribe ([Vélez y Aguirre, 2016](#)), y San Juan de Urabá, influenciado por los efectos de la contra corriente del Darién que determinan el contraflujo semicontinuo mar afuera (frente al golfo de Urabá), donde los vientos constantes son la mayor forzante ([Ricaurte-Villota et al., 2017](#)). La franja costera del departamento de Antioquia, se caracteriza por presentar ecosistemas frágiles, influenciados por el delta del río Atrato que recibe la escorrentía, por lo que tiene un papel principal en la hidrodinámica y transporte de sedimentos, además de las descargas directas de contaminantes en el golfo. Adicionalmente, su dinámica climatológica es impulsada por la Zona de Convergencia Intertropical – ZCIT migración que determina los patrones climáticos que caracterizan las épocas seca y húmeda de la zona ([Escobar y Vélasquez, 2018](#)).

Con el propósito de dar soporte a la gestión para la conservación y protección del recurso hídrico marino-costero del golfo de Urabá y contar con información base en torno a la calidad ambiental marina, la Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá- CORPOURABÁ en el marco de la REDCAM, evalúa la calidad de las aguas y sedimentos marinos. En el 2016, se llevó a cabo un proceso de fortalecimiento del monitoreo aumentando la frecuencia de los muestreos, y analizando las muestras directamente en el laboratorio de aguas de CORPOURABÁ, que está enfrentando nuevos retos para fortalecer su capacidad técnica y realizar análisis con mayor precisión. En el LABCAM del INVEMAR, se siguen analizando los extractos de hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno en aguas y sedimentos, procesados por CORPOURABÁ. El presente capítulo incluye los resultados de las campañas de monitoreo realizados en el segundo semestre de 2016, durante los meses de julio-agosto, septiembre y octubre-noviembre (3 muestreos) y primer semestre de 2017 durante los meses de marzo, abril-mayo y junio (3 muestreos).

10.1 ZONAS DE MONITOREO

Con el fin de evaluar el estado de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento de Antioquia, la REDCAM cuenta con 27 estaciones de muestreo, distribuidas en las siguientes cuatro zonas (Figura 10.1):

La zona **San Juan de Urabá** incluye 7 estaciones de muestreo de agua superficial, de las cuales en río Hobo y las desembocaduras de los ríos Mulatos, Volcán, Damaquiel y San Juan se recolectaron sedimentos, distribuidos en la costa de los municipios de Necoclí y Arboletes, con la influencia de los ríos Mulatos, Damaquiel, San Juan, Jobo y Arboletes, abarcando un área con interés turístico, pesquero y sus desembarcaderos.

La zona **Golfo Alto** que incluye 3 estaciones de muestreo de agua superficial, Playa Lechugal; dembocadura del río Necoclí y enseñada de Río Negro, donde también se toman muestras de sedimentos. Es una zona de gran interés pesquero y desarrollo de actividades de interés turístico.

En la zona **Golfo Medio** se encuentran playas de interés turístico la Martina, el Totumo y Necoclí, que son generadas por los depósitos sedimentarios transportados por el río Atrato, que forman amplias extensiones deltaicas ([Diaz-Merlano., 2014](#)). En la zona se encuentran 7 estaciones de muestreo de agua superficial, en 4 de las cuales (desembocadura Caimán nuevo, Atrato Matatungo, y Turbo) se muestrea sedimento.

La zona de **Bahía Colombia** abarca la parte sur de golfo que va desde el delta del río Atrato hasta la zona costera del municipio de Turbo. Esta zona se caracteriza por el desarrollo de actividades socioeconómicas del distrito portuario, logístico y turístico del municipio de Turbo; está influenciada por las desembocaduras del río Atrato, Suriquí, León, Guadualito y Turbo que reciben desechos líquidos y sólidos provenientes de las plantaciones bananeras, la ganadería y las descargas residuales de los asentamientos urbanos (Vallejo *et al.*, 2016). En esta zona se cuenta con 10 estaciones de muestreo de agua superficial y 5 estaciones de sedimentos en el río y desembocaduras de León y Currulao y en la desembocadura del río Guadualito.

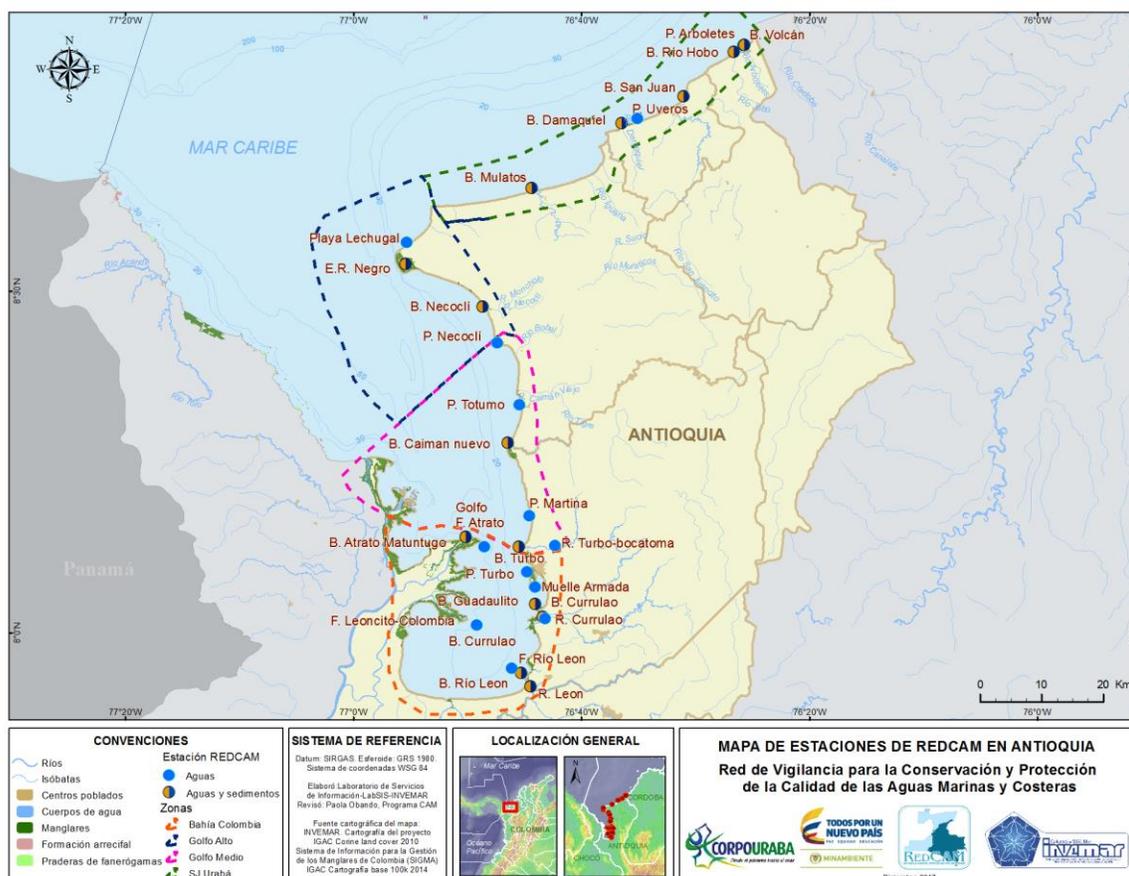


Figura 10.1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos azules y marrón) en el departamento de Antioquia.

La dinámica del Golfo de Urabá está influenciada por los vientos Alisios que determinan una época de sequía en los meses de diciembre a abril, y temporada de lluvias de agosto a noviembre (Urrego *et al.*, 2014, INVEMAR, 2015d). Durante los muestreos de 2016 en julio-agosto se presentaron pocas lluvias; mientras que en septiembre y octubre-noviembre las condiciones climáticas tuvieron influencia del tránsito de ondas tropicales y el paso del huracán Mathew que dejó precipitaciones y vientos fuertes. En 2017, en general persistieron las condiciones neutras, con condiciones atípicas en marzo con algunos excesos de lluvias superando los promedios históricos, mientras que entre abril-mayo y junio las lluvias no superaron los registros históricos y se acentuó la época de transición a la temporada de lluvias (IDEAM, 2016a y 2017c)

10.2 CALIDAD DE AGUAS

Durante los muestreos de 2017, la temperatura del agua superficial osciló entre 25,8 y 33,6°C (Tabla 10.1), encontrando una mayor variabilidad en la zona de Bahía Colombia, en particular en la estación desembocadura del río Guadualito, lo cual se debe a la interacción de los procesos fluvio-marinos que condicionan la dinámica del golfo, impulsada por la presencia de las descargas de los ríos y los vientos, que dan lugar a las olas y los gradientes de densidad ([Urrego et al, 2014](#)). Cabe aclarar, que no se tomaron registros durante los muestreos de 2016.

Tabla 10.1. Temperatura del agua superficial registrada de las estaciones REDCAM en el Golfo de Urabá, departamento de Antioquia en marzo, abril-mayo y junio de 2017, y los valores mínimos y máximos registrados por la REDCAM (-valores no registrados)

Zona	Estación	mar-17	abr-may-17	jun-17	Valor mínimo REDCAM	Valor máximo REDCAM
San Juan Urabá	Desembocadura río Volcan Arboletes-DGI031	30,7	28,2	30,5	24,2	31,7
	Playa de Arboletes -DGI001	-	28,8	30	26	31,6
	Desembocadura río Hobo Arboletes-DGI032	33,3	30,8	30,5	25,9	33,3
	Bocas del San Juan - Arboletes-DGI028	33,4	30	30	25,3	33,4
	Playa Uveros-DGI033	31	31,4	32,2	25,7	32,2
	Desembocadura río Damaquiel-DGI034	30	29,5	29,9	25,7	31,2
Golfo Alto	Desembocadura del río Mulatos-DGI002	30	27,7	27,8	26	31,8
	Playa Lechugal-DGI042	28,2	28,9	29,2	25,4	29,3
	Ensenada de río Negro-DGI004	29	28,6	29,9	25,1	32,2
Golfo Medio	Desembocadura de Río Necocli-DGI005	29,1	27,6	28,6	24,9	31
	Playa de Necocli-DGI007	28,2	28,7	30	27	30,9
	Playa el Totumo-DGI008	29,3	28,8	30	24,2	32,2
	Desembocadura río Caiman Nuevo Nec-DGI038	28,3	29,2	29,7	26	32
	Playa la Martina-DGI009	30,8	30,5	30,1	26,3	32,9
	Km Adentro río Turbo- Bocatoma-DGI041	26,9	27,4	27,1	25,4	36,6
	Boca del río Atrato, Matuntugo-DGI018	26,6	27,9	27	26	29,2
Bahia Colombia	Desembocadura río Turbo-DGI040	27,5	28,7	27,5	24	33,6
	Golfo de Uraba -F. Atrato DGI020	26,8	30,1	27,2	24,3	31
	Playa de Turbo-DGI010	30,8	30,5	30,8	26,1	31,8
	Muelle Armada - Turbo-DGI027	28,5	30,5	32,9	26	32,9
	Desembocadura río Guadualito-Turbo-DGI039	25,9	28,2	33,6	25,9	33,6
	Km Arriba río Currulao-DGI012	28,3	28,5	28,8	23,3	37
	Desembocadura río Currulao- DGI011	25,8	26,9	31,3	25,5	31,3
	F. Leoncito - B. Colombia-Fondeadero-DGI030	26,5	27,6	27,2	26,5	30,4
	(Frente) Km después río leon - DGI015	28	28,8	28	25,4	31,1
	Desembocadura del río León-DGI013	28,1	28,2	27,8	25,5	30,8
Km arriba del río León-DGI014	28,7	27	28,1	25,6	30,1	

La salinidad del agua superficial registrada en los muestreos de marzo, abril-mayo y junio de 2017, presentó una variación entre 0,04 y 32,8 (Figura 10.2). En las estaciones de los ríos y sus desembocaduras, la salinidad osciló entre 0,04 y 23,7, presentándose en algunas estaciones de ríos y sus bocanas, como San Juan, Damaquiel, Turbo, Atrato-Matatungo, Guadualito, Leon y Currulao, condiciones de agua dulce y oligohalina (0,5 - 3,0; [Knox, 2001](#), Figura 10.2); en las estaciones de playas, la salinidad fluctuó entre 5,41 y 32,8, clasificandolas de acuerdo a [Knox \(2001\)](#) entre mesohalina estuarina y mesohalina marina; variaciones que están asociadas a las temporadas climáticas marcadas ya que en particular durante el 2017 se produjo un atípico incremento de las lluvias en el mes de marzo que históricamente se cataloga como un tiempo

seco en la región Caribe, condición que continuó entre abril-mayo y junio en donde se presentaron lluvias, lo cual propició el incremento de las descargas fluviales ([IDEAM, 2017](#)), influenciando toda la dinámica del golfo. Además, [Montoya et al 2008](#) encontró que la dirección del viento, marea y descarga del río Atato influyen en la hidrodinámica del golfo, produciendo una estratificación salina por la presencia de una pluma estuarina estable.

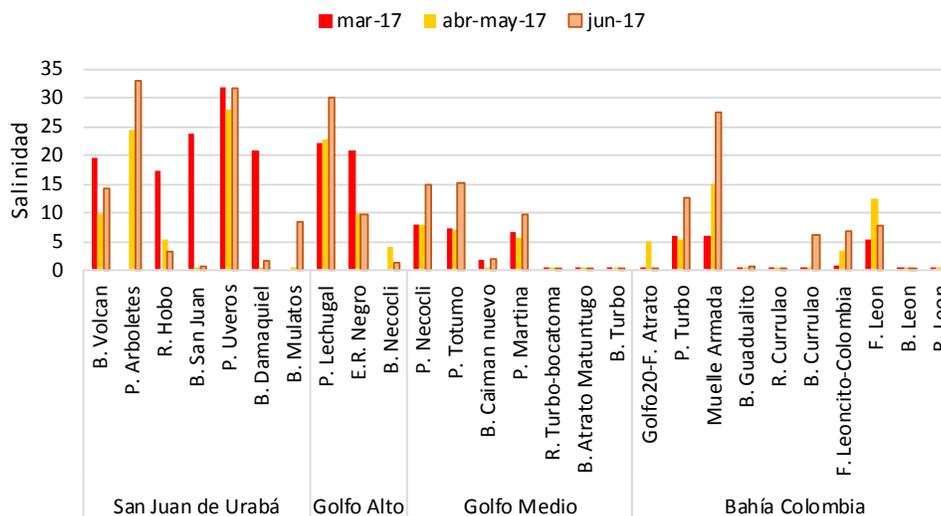


Figura 10.2. Valores de salinidad medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia en marzo, abril-mayo y junio de 2017.

El oxígeno disuelto (OD) durante los muestreos osciló entre 0,31 y 8,52 mg O₂/L; en julio-agosto, septiembre y octubre-noviembre de 2016, fueron recurrentes las condiciones de hipoxia en las playas de Arboletes, Lechugal (Bobalito), Necocli, Uveros, La Martina y Turbo; en el río y desembocaduras de León; y las bocanas de los ríos San Juan, Volcán, Necocli, Turbo, y Guadualito (Figura 10.3a, b y c), con concentraciones por debajo del criterio mínimo de calidad para preservación de flora y fauna de la legislación nacional (4,0 mg de O₂/L, [MinSalud, 1984](#));. Por otro lado, durante los muestreos de abril-mayo y junio 2017 se registraron concentraciones de OD superiores a 4,0 mg de O₂/L, pero persistieron las bajas concentraciones en las desembocaduras del río Volcán y Necocli (Figura 10.3d y e). Esto se asocia a la influencia del río Atrato con un caudal máximo cercano a los 16m³/s ([IDEAM, 2015](#)) los efectos de la contra corriente del Darién sobre la zona marina adyacente al golfo de Urabá y los vientos que impulsan la presencia de variaciones energéticas muy altas que marcan la variabilidad de la zona costera ([Ricaurte-Villota et al, 2017](#)), y a la influencia de la escorrentía favorecida por los excesos de lluvias y la baja capacidad de retención de agua de la capa superficial de los suelos del Golfo y San Juan de Urabá ([IDEAM, 2015](#)) que trae consigo contaminantes orgánicos e inorgánicos.

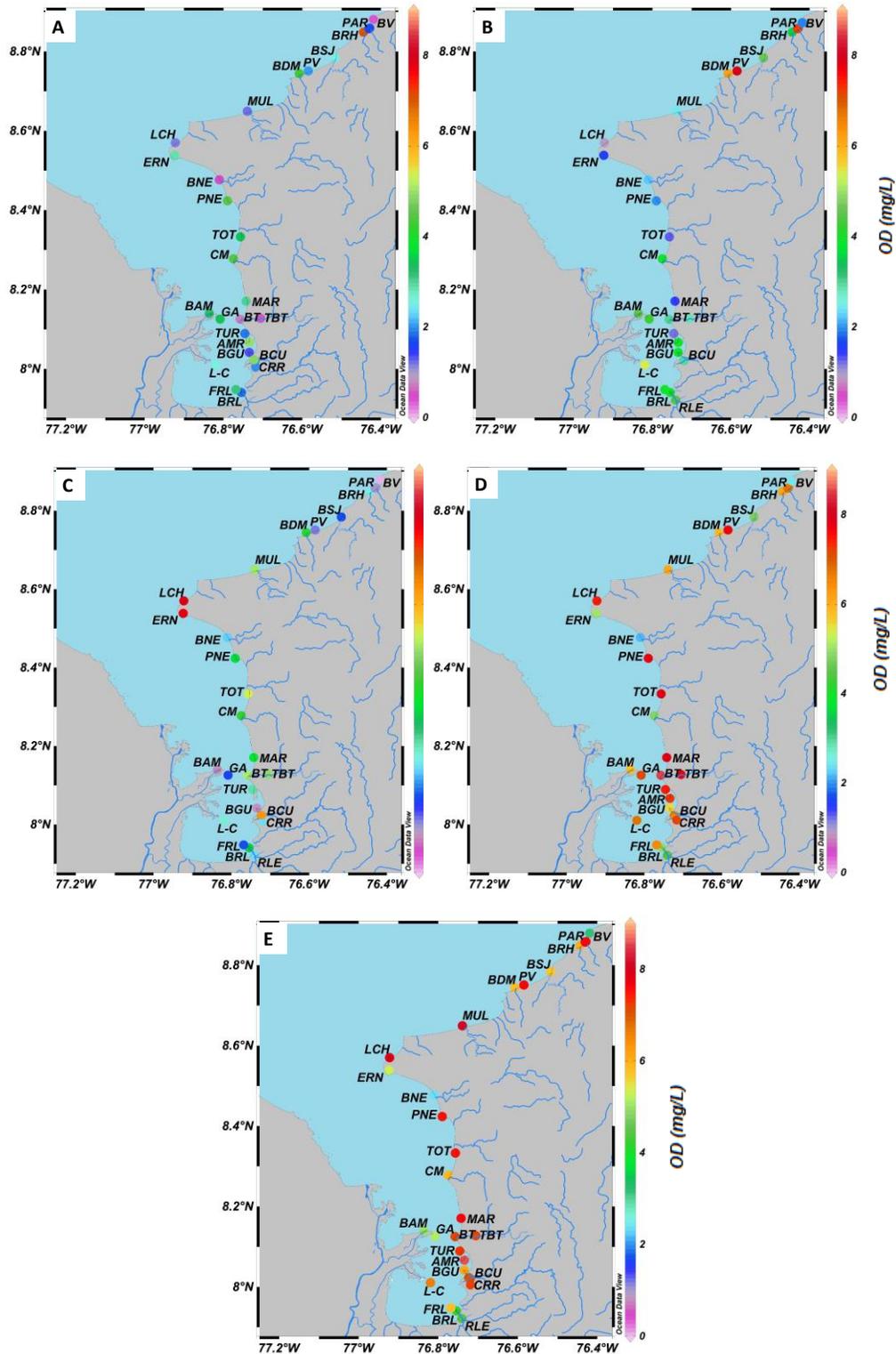


Figura 10.3. Oxígeno disuelto (mg/L) en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Antioquia medido en los meses de julio-agosto (A), septiembre (B), y octubre-noviembre (C) 2016; abril-mayo (D) y junio (E) 2017. Estaciones; BV= B. Volcán, PAR= P. Arboletes, BRH= B. Río Hobo, BSJ= B. San Juan, PV= P. Uveros, BDM= B. Damaquié, MUL= B. Mulatos, LCH= P. Lechugal, ERN= E. R. Negro, BNE= B. Necoclí, PNE= P. Necoclí, TOT= P. Totumo, CM= B. Caimán Nuevo, MAR= P. Martina, BT= B. Turbo, TBT= R. Turbo-Bocatoma, TUR= P. Turbo, AMR= Muelle Armada, BGU= B. Guadualito, BCU= B. Currulao, CRR= R. Currulao, RLE= R. León, BRL= B. Río León, FRL= F. Río León, y L-C= F. Leoncito-Colombia.

El registro histórico de las zonas de monitoreo en el departamento de Antioquia (Figura 10.4) muestra la alta variabilidad de las concentraciones de OD en las aguas superficiales, principalmente en Bahía Colombia, lo cual está relacionado a la presión que ejercen los tensores antropogénicos como el uso de agroquímicos, fertilizantes y vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales que son transportados por las extensas cuencas que desembocan en el golfo de Urabá ([Vélez y Aguirre, 2016](#)). En cuanto a la variación temporal, en las 4 zonas de muestreo, se evidenció una mayor fluctuación en los registros medidos en el primer semestre del año, en particular en marzo 2012 en donde se produjo un debilitamiento de La Niña y aumentaron los vientos alisios que favorecen la aireación de las aguas ([IDEAM, 2012](#)).

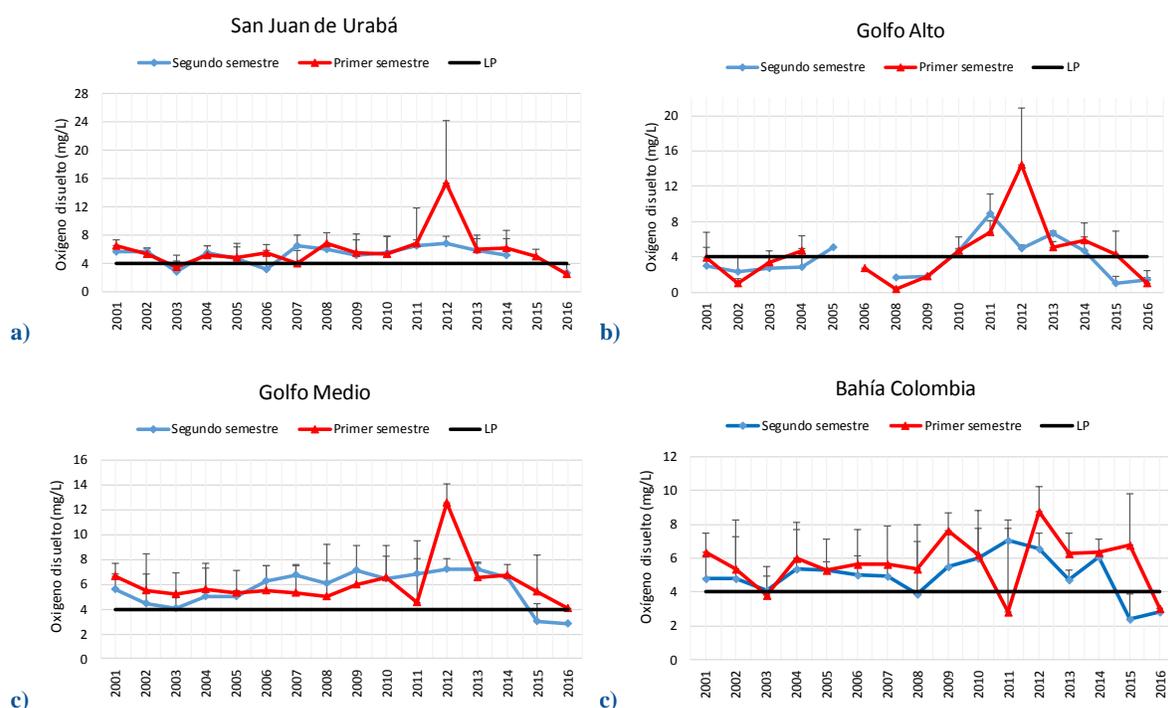


Figura 10.4. Valores promedio históricos de oxígeno disuelto en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Antioquia. La línea negra indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido de 4,0 mg de O₂/L en el Decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)).

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre el límite de cuantificación del método analítico utilizado en el laboratorio de aguas de CORPOURABÁ (<9,0 mg/L) y 8.235 mg/L, resultados que superan los valores de referencia de calidad de las aguas propuesto por [CONAGUA \(2015\)](#), clasificándolas como fuertemente contaminadas (400 mg de SST/L; Figura 10.5). Durante el muestreo de julio-agosto del 2016, se registraron las mayores concentraciones de SST en la zona golfo medio, en particular en las estaciones de río Turbo bocatoma (3.040 mg/L) y su desembocadura (3.070 mg/L); y en Bahía Colombia, en la desembocadura del río Guadualito (1.681 mg/L) y el río Currulao (710,5 mg/L) (Figura 10.5A). Sin embargo, las mayores concentraciones se presentaron en 2017 (Figura 10.5B) en el muestreo de abril-mayo, en particular en la zona San Juan de Urabá, en las estaciones boca San Juan (8.235 mg/L), playa Arboletes (2.932 mg/L) y desembocadura río Mulatos (1.614 mg/L); mientras que en la zona de golfo alto los registros fueron menores a los 100 mg/L. Estas condiciones se asocian a procesos

erosivos por deforestación para la expansión de las fronteras agrícolas en las cuencas de los ríos que desembocan el golfo de Urabá (Blanco-Libreros, 2016), a la minería y a la extracción intensiva de materiales de playa que aceleran los procesos erosivos en el golfo (Vélez y Aguirre, 2016) y a la dinámica del golfo que está influenciada por las descargas de los tributarios de sólidos y líquidos (Vallejo Toro et al, 2016).

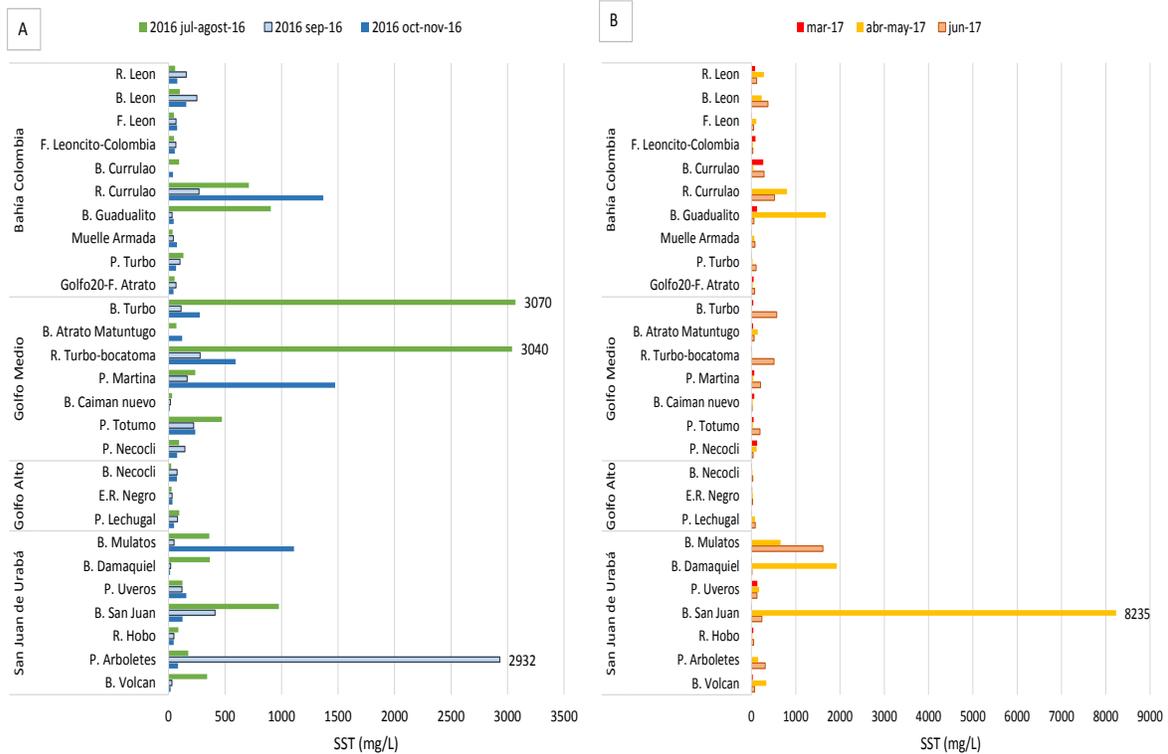


Figura 10.5. Sólidos suspendidos totales en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Antioquia, medido en los meses de julio-agosto, septiembre y octubre-noviembre 2016; y marzo, abril-mayo y junio de 2017, en las zonas de muestreo: (A) muestreos en 2016 y (B) muestreos en 2017.

Las concentraciones de los nutrientes inorgánicos disueltos como el amonio ($N-NH_4^+$), nitritos ($N-NO_2^-$), nitratos ($N-NO_3^-$) y ortofosfatos ($P-PO_4^{3-}$), se muestran en la Figura 10.6. Los valores de amonio oscilaron entre no detectables es por la técnica analítica y $34.560 \mu g N-NH_4^+/L$, presentándose las mayores concentraciones durante los muestreos de 2017, en las playas de Arboletes, Uveros, Lechugal, Necolí, Totumo y la Martina, ensenada de río Negro, desembocadura del río Atrato-Matatungo y en el muelle Armada (Figura 10.6a), lo que refleja la alta carga contaminante que recibe el golfo de las más de 10 cuencas que en él desembocan, principalmente el río Atrato, donde en épocas de lluvias se aumentan las escorrentías agrícolas de los cultivos de plátano y banano (Castaño, 2002; MMA, 2002; García-Valencia, 2007) y a los vertimientos que realiza el río San Juan que recibe las descargas de la población de San Pedro de Urabá y de Arboletes (Alcaldía de San Pedro de Urabá, 2016).

Los nitritos oscilaron entre el menor al límite de cuantificación del método analítico utilizado en el laboratorio de análisis de aguas de CORPOURABÁ ($<3,0 \mu g/L$) y $2.320 \mu g/L$, presentándose las concentraciones más altas en la zona de San Juan de Urabá, en las estaciones de las desembocaduras de los ríos Volcán ($730 \mu g/L$) en abril-mayo 2017 y ($2.320 \mu g/L$) en

junio 2017; y Damaquiel (590 $\mu\text{g/L}$) en junio 2017 (Figura 10.6b), valores superiores al rango sugerido como criterio de calidad para proteger los organismos acuáticos sensibles (80 y 350 $\mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$; [Camargo y Alonso, 2006](#)).

Las concentraciones de nitratos estuvieron entre el menor al límite de cuantificación del método analítico utilizado en el laboratorio de Análisis de Aguas de CORPOURABÁ (<100 $\mu\text{g/L}$) y 37.000 $\mu\text{g/L}$. Las mayores concentraciones se registraron en marzo 2017 en la zona de San Juan de Urabá y Bahía Colombia, en las estaciones de las desembocaduras de los ríos Volcán (4.380 $\mu\text{g/L}$) y Turbo (37.000 $\mu\text{g/L}$) (Figura 10.6c).

Los ortofosfatos oscilaron entre menor al límite de cuantificación del método analítico utilizado en el laboratorio de Análisis de Aguas de CORPOURABÁ (<100 $\mu\text{g/L}$) y 4.650 $\mu\text{g/L}$ (Figura 10.6d). Las mayores concentraciones se presentaron en el muestreo de marzo 2017, en la zona San Juan de Urabá, estación de la desembocadura del río Volcán (4.650 $\mu\text{g/L}$), lo cual se asocia a vertimientos de aguas residuales, los aportes de nutrientes por escorrentías de los suelos agrícolas aledaños y a que en el inicio de la temporada de lluvias la bocana del río Volcán se tapona por la acumulación de sedimentos, y por la presencia de las obras de “tómbolos” en cercanías a la desembocadura del río, lo cual afecta los intercambios directos de agua entre el afluente deltaico y el mar, situaciones que se han observado durante las campañas de muestreo.

La calidad microbiológica del agua de las estaciones de muestreo, se determinó con la medición de coliformes totales - CTT (Tabla 10.2) y coliformes termotolerantes - CTE (Tabla 10.3). Se registraron altas concentraciones de CTT en todas las estaciones, sobrepasando los límites permisibles para el uso recreativo de contacto primario (natación y buceo) y secundario (deportes náuticos y pesca) de acuerdo con la legislación nacional ([Minsalud, 1984](#)), principalmente en las desembocaduras de los ríos Volcán, Mulatos, Currulao, Guadualito y Atrato; y en las playas de Arboletes y Necoclí. Situación similar y recurrente con las concentraciones de CTE, donde se destacan las zonas de San Juan de Urabá y Golfo medio, en particular las estaciones de playa de Arboletes, Necoclí, Totumo y La Martina que tienen una alta contaminación de origen fecal, lo cual se relaciona con los aportes de los cuerpos de agua en el caso de Arboletes del río el volcán, Necoclí del Caño Jaime, Totumo y La Martina de las descargas directas de las aguas residuales. Además de los aportes del río San Juan de Urabá que recoge las descargas de contaminantes de la población de San Pedro de Urabá y de Arboletes ([Alcaldía de San Juan, 2016](#)).

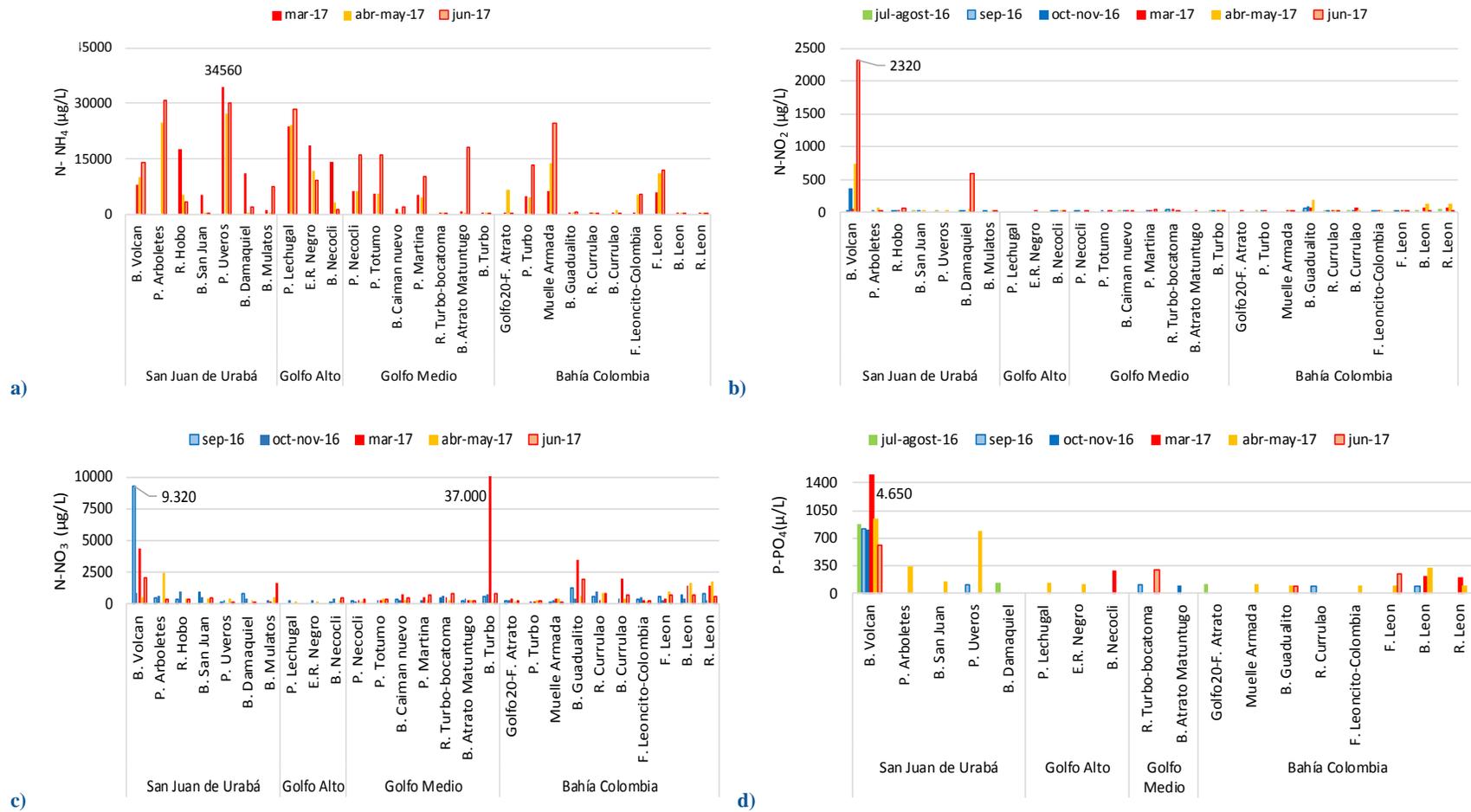


Figura 10.6. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitritos (N-NO₂⁻), c) nitratos (N-NO₃⁻) y d) ortofosfatos (P-PO₄⁻³), medidos entre julio-agosto, septiembre y octubre-noviembre 2016; y marzo, abril-mayo y junio 2017 y zonas de muestreo REDCAM departamento de Antioquia.

Tabla 10.2. Concentraciones de totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento Antioquia, en los muestreos de julio-agosto, septiembre y octubre-noviembre de 2016; y marzo, abril-mayo, junio de 2017. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de [MinSalud \(1984\)](#).

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)							Rango histórico	Percentil 90
		jul-agost-16	sep-16	oct-nov-	mar-17	abr-may-17	jun-17			
San Juan de Urabá	Desembocadura río Volcan Arboletes-DGI031	1.200.000	28.000.000	170.000	2.400.000	-	600.000	<1,8 - 18x10 ¹⁰	81x10 ⁷	
	Playa de Arboletes -DGI001	24.000	240.000	4.900	-	160.000.000	54.000	<1,8 - 16x10 ⁶	24x10 ⁴	
	Desembocadura río Hobo	180.000	2.400.000	230.000	170.000	22.000	110.000	20 - 28x10 ⁶	1,6x10 ⁶	
	Bocas del San Juan - Arboletes-DGI028	2.400.000	16.000	70.000	43.000	1.600.000	63.000	50 - 5,4x10 ⁶	992x10 ³	
	Playa Uveros-DGI033	11.000	22.000	130	7.900	5.400.000	49.000	50 - 49x10 ³	23,2x10 ³	
	Desembocadura río Damaquiel-	940.000	220.000	79.000	12.000	8.400	630.000	90 - 2,4x10 ⁶	847x10 ³	
	Desembocadura del río Mulatos-DGI002	150.000	5.800	1.600.000	53.100	1.400.000	1.600.000	110 - 2,2x10 ⁶	648x10 ³	
Golfo Alto	Playa Lechugal-DGI042	780	1.700	200	170	24.000	2.200	<1,8 - 24x10 ³	19,9x10 ³	
	Ensenada de río Negro-DGI004	5.400	2.400	18	1.400	4.300	9.200	<1,8 - 35x10 ³	9,2x10 ³	
	Desembocadura de río Necocli-DGI005	120.000	9.400	33.000	70.000	280.000	17.000	50 - 92x10 ⁴	204x10 ³	
Golfo Medio	Playa de Necocli-DGI007	41.000	24.000	92.000	5.800	17.000	43.000	22 - 46x10 ⁴	92x10 ³	
	Playa el Totumo-DGI008	94.000	4.300	16.000	4.300	17.000	4.900	20 - 11x10 ⁴	40,5x10 ³	
	Desembocadura río Caimán Nuevo	17.000	27.000	24.000	2.800.000	43.000	35.000	90 - 2,8x10 ⁶	408x10 ³	
	Playa la Martina-DGI009	170.000	24.000	2.100	24.000	22.000	27.000	40- 1,1x10 ⁶	40x10 ³	
	Km Adentro río Turbo- Bocatoma-DGI041	240.000	240.000	920.000	43.000	28.000	54.000	700 - 92x10 ⁴	240x10 ³	
	Boca del río Atrato, Matuntugo-	160.000	240.000	910	43.000	7.000	240.000	80 - 110x10 ⁶	184x10 ⁴	
	Desembocadura río Turbo-DGI040	240.000	220.000	240.000	17.000	43.000	35.000	170 - 2,4x10 ⁶	390x10 ⁴	
Bahía Colombia	Golfo de Uraba -F. Atrato DGI020	2.200	7.900	240	28.000	600	45	40 - 54x10 ⁴	51,4x10 ³	
	Playa de Turbo-DGI010	21.000	8.400	1.400	-	17.000	52	<1,8 - 110x10 ³	16,3x10 ³	
	Muelle Armada - Turbo-DGI027	16.000	15.000	40	17.000	160.000	2.400	15 - 54x10 ⁴	64,8x10 ³	
	Desembocadura río Guadualito-	2.400.000	240.000	48.000	220.000	1.600.000	350.000	<1,8 - 28x10 ⁷	2,08x10 ⁶	
	Km Arriba río Currulao-DGI012	210.000	120.000	790.000	48.000	2.400.000	120.000	23x10 ² - 2,4x10 ⁶	680x10 ³	
	Desembocadura río Currulao-	240.000	-	210.000	220.000	12.000	2.400.000	130 - 16x10 ⁷	824x10 ³	
	F. Leoncito - B. Colombia-Fondeadero-DGI030	8.400	9.200	330	24.000	54.000	17.000	40 - 16x10 ⁴	36x10 ³	
	(Frente) Km después río leon - DGI015	24.000	11.000	54.000	24.000	92.000	25.000	2 - 11x10 ⁶	171x10 ³	
	Desembocadura del río León-DGI013	2.200.000	210.000	63.000	220.000	54.000	2.400.000	20 - 4,6x10 ⁶	2,62x10 ⁶	
	Km arriba del río León-DGI014	170.000	240.000	140.000	24.000	160.000	2.800.000	330 - 9,4x10 ⁶	1,84x10 ⁶	
Límite permisible contacto primario									1.000	
Límite permisible contacto secundario									5.000	

Tabla 10.3. Concentraciones de termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento Antioquia, en los muestreos de julio-agosto, septiembre y octubre-noviembre de 2016; y marzo, abril-mayo, junio de 2017. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de MinSalud (1984).

Zona	Estación	CTE (NMP/100 mL)						Rango histórico	Percentil 90
		jul-agost-16	sep-16	oct-nov-16	mar-17	abr-may-17	jun-17		
San Juan de Urabá	Desembocadura Río Volcan Arboletes-DGI031	1.200.000	28.000.000	7.900	93.000	9.200.000	350.000	330 - 2,2x10 ⁹	4,7x10 ⁸
	Playa de Arboletes -DGI001	12.000	240.000	1.300		2.000	2.100	<1,8 - 2,4x10 ⁵	37,2x10 ³
	Desembocadura Río Hobo Arboletes-DGI032	10.000	56.000	210.000	70.000	920.000	3.700	<1,8 - 2,2x10 ⁷	3,8x10 ⁵
	Bocas del San Juan - Arboletes-DGI028	20.000	92	21.000	180	5.400.000	4.000	20 - 5,4x10 ⁶	23,6x10 ⁴
	Playa Uveros-DGI033	780	9.400	130	180	4.300	1.800	<1,8 - 9,4x10 ³	6,74x10 ²
	Desembocadura río Damaquiel-DGI034	37.000	32.000	23.000	370	580.000	40.000	40 - 5,8x10 ⁵	1,36x10 ⁴
	Desembocadura del río Mulatos-DGI002	14.000	1.700	79.000	3.600	34.000	350.000	<1,8 - 1,3x10 ⁶	58,7x10 ³
Golfo Alto	Playa Lechugal-DGI042	18	330	180	18	1.400	81	<1,8 - 3,5x10 ³	3,08x10 ²
	Ensenada de Río Negro-DGI004	83	150	<1,8	36		2.800	<1,8 - 3,5x10 ⁴	2,65x10 ²
	Desembocadura de río Necocli-DGI005	20.000	2.600	13.000	3.700	22.000	1.100	<1,8 - 2,4x10 ⁵	21,4x10 ³
Golfo Medio	Playa de Necocli-DGI007	12.000	13.000	11.000	400	2.200	200	17 - 5,4x10 ⁴	13,8x10 ³
	Playa el Totumo-DGI008	13.000	200	2.100	200	2.600	100	<1,8 - 1,1x10 ⁵	11,6x10 ³
	Desembocadura río Caimán Nuevo Nec-DGI038	310	9.300	1.700	120.000	9.100	1.000	40 - 3x10 ⁵	74,8x10 ³
	Playa la Martina-DGI009	1.800	830	310	830	4.900	780	<1,8 - 9,3x10 ⁴	3,72x10 ²
	Km Adentro río Turbo- Bocatoma-DGI041	43.000	49.000	120.000	550	1.200	7.000	400 - 2,2x10 ⁵	92x10 ⁴
	Boca del río Atrato, Matuntugo-DGI018	14.000	14.000	450	550		3.700	<1,8 - 7x10 ⁷	7,63x10 ²
	Desembocadura río Turbo-DGI040	23.000	8.100	41.000	1.300	910	5.800	<1,8 - 4,6x10 ⁵	38x10 ³
Bahía Colombia	Golfo de Uraba -F. Atrato DGI020	270	200	45	1.700	200	<1,8	<1,8 - 2,3x10 ⁴	3x10 ³
	Playa de Turbo-DGI010	4.000	180	230	-	600	<1,8	<1,8 - 1,5x10 ⁴	2,45x10 ²
	Muelle Armada - Turbo-DGI027	5.400	3.200	20	1.400	35.000	37	9 - 2,4x10 ⁵	27,3x10 ³
	Desembocadura río Guadualito-Turbo-DGI039	1.700.000	12.000	9.200	33.000	170.000	5.500	<1,8 - 7x10 ⁷	1,16x10 ⁵
	Km Arriba río Currulao-DGI012	110.000	14.000	340.000	4.500	49.000	38.000	20 - 9,2x10 ⁵	15x10 ⁴
	Desembocadura río Currulao- DGI011	49.000		27.000	32.000	1.400	270.000	80 - 4,9x10 ⁹	176x10 ³
	F. Leoncito - B. Colombia-Fondeadero-DGI030	180	55	40	180	22.000	360	<1,8 - 5,4x10 ⁴	12,04x10 ²
	(Frente) Km después río leon - DGI015	8.300	4.600	14.000	3.700	22.000	9.100	<1,8 - 4,6x10 ⁵	28,7x10 ³
	Desembocadura del río León-DGI013	340.000	33.000	13.000	22.000	6.300	170.000	<1,8 - 2,4x10 ⁶	292x10 ³
Km arriba del río León-DGI014	46.000	41.000	17.000	13.000	8.400	380.000	200 - 3,3x10 ⁶	388x10 ³	
Límite permisible contacto primario		200							

En la Figura 10.7 a y b, se muestran las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de Criseno (HPDD), registradas en los monitoreos de los años 2016 y 2017. Durante el 2016, en la zona de golfo medio, las concentraciones de HPDD fueron muy variables entre los muestreos, en la playa Necoclí, se registraron concentraciones entre 0,085 $\mu\text{g/L}$ y 0,794 $\mu\text{g/L}$; de igual manera en 2017, en el monitoreo de junio, en todas las zonas se presentaron variaciones, principalmente en playa Turbo, donde se registraron concentraciones entre 0,1 $\mu\text{g/L}$ y 1,61 $\mu\text{g/L}$. Cabe destacar que en ninguna estación, ni época de muestreo, las concentraciones registradas superaron los valores de referencia para aguas costeras con contaminación baja ($>5 <10 \mu\text{g/L}$) y de aguas marinas contaminadas ($>10 \mu\text{g/L}$) ([UNESCO, 1984](#); [Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-González et al., 2004](#)).

Las concentraciones promedio HPDD registradas desde el año 2001 al 2016 en las zonas de muestreo se muestran en la Figura 10.8. Las mayores concentraciones de HPDD se presentaron en el año 2001, en Bahía Colombia, en las estaciones de playa Turbo (14,55 $\mu\text{g/L}$) y río Leon (15,26 $\mu\text{g/L}$), indicando contaminación asociada al uso de combustible y sus derivados en actividades de desarrollo portuario, quema de hidrocarburos, descargas de residuos sólidos y líquidos, y la inadecuada gestión de los residuos de las operaciones industriales y el turismo ([Yanes et al 2018](#)).

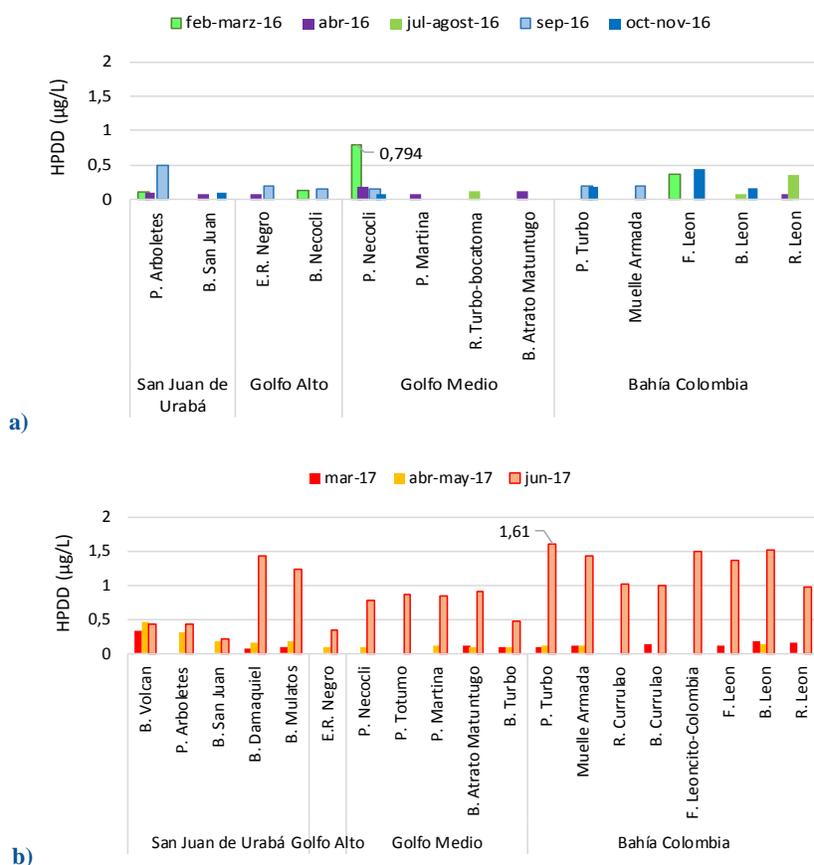


Figura 10.7. Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) medidos en los extractos de las muestras tomadas por CORPOURABÁ enviadas a LABCAM del INVEMAR para el análisis en las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia, en los muestreos de (a): febrero-marzo, abril, julio-agosto, septiembre, y octubre-noviembre en 2016; y (b) marzo, abril-mayo y junio 2017.

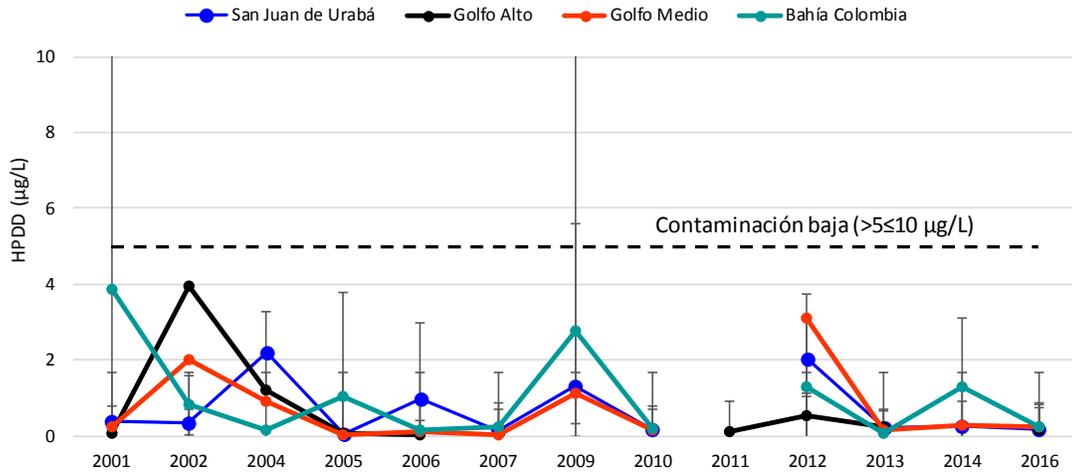


Figura 10.8. Promedio de las concentraciones de Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos (HDD) registradas entre los años 2001 y 2016 en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento Antioquia. Línea punteada es el valor de referencia de $>5 \leq 10 \mu\text{g/L}$ para aguas costeras con contaminación baja y $>10 \mu\text{g/L}$ para aguas contaminadas (UNESCO, 1984; Zanardi *et al.*, 1999; Acuña-González *et al.*, 2004).

En los muestreos de 2016 y 2017, no se detectaron los plaguicidas organoclorados, Lindano, Aldrin, Endrin, DDT y DDD en aguas superficiales. Sin embargo, en el registro histórico de la REDCAM se han detectado concentraciones atribuidas a las actividades agrícolas y a la influencia del Atrato que recoge las escorrentías agrícolas procedentes de los cultivos de plátano y banano (García-Valencia, 2007).

Durante los muestreos de 2016, en todas las estaciones, las concentraciones de los metales Pb, Cd y Zn totales en aguas estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método utilizado por el LABCAM de INVEMAR; durante el 2017 en la estación desembocadura del río Atrato – Matuntugo se registraron concentraciones de Pb ($14,17 \mu\text{g/L}$), y de Cromo ($84,6 \mu\text{g/L}$); y en la zona de golfo Medio, en playa Martina Cd ($12,69 \mu\text{g/L}$), y de Hg ($46,3 \mu\text{g/L}$) concentraciones que superan el valor de referencia para efectos crónicos (Buchman, 2008). Este último metal está asociado con el proceso de minería que se realiza en el río Atrato, ya que hace su recorrido por el Chocó, que es una de las principales áreas dedicadas a la extracción de oro ilegal en el país (Escobar y Vélasquez, 2018).

10.2.1 Calidad del agua de acuerdo con el ICAM_{PPF}

La aplicación del ICAM_{PPF} mostró que la calidad del agua superficial del 76% de las estaciones estuvo entre pésima e inadecuada, el 21% aceptable y el 3% adecuada. Cabe destacar que, en las 6 campañas de muestreo, predominaron condiciones que no son favorables para la preservación de la fauna y flora, en particular las zonas San Juan de Urabá y Bahía Colombia donde predominó la calidad pésima e inadecuada. Este comportamiento estuvo asociado a las altas concentraciones de CTE y a las bajas de oxígeno.

Durante los muestreos de 2016, el 82% de estaciones presentaron condición entre pésima e inadecuada, y el 18% aceptable, durante los muestreos de septiembre y octubre se presentó

pésima condición en las estaciones playa de Arboletes y Uveros, muelle Armada, y en las desembocaduras del río Volcán, León, Mulatos y Guadualito (Figura 10.9). Estas estaciones tienen una influencia de las descargas del río Atrato y San Juan que en sus recorridos reciben los residuos sólidos y líquidos de la población y la escorrentía con contaminantes producto del desarrollo de las actividades de agro y minería (Castaño, 2002; García-Valencia, 2007). Además, de la presencia de tensores naturales como el tránsito de ondas tropicales, los rezagos del evento El Niño y el paso del huracán Mathew que dejó precipitaciones y vientos fuertes, impulsando la dinámica del golfo y San Juan de Urabá.

En los muestreos de 2017, la calidad del agua del 71% de las estaciones estuvo entre pésima e inadecuada, el 24% aceptable y 5% adecuada, ésta última se registró en el muestreo de marzo en la estación desembocadura río Damaquiel, y en abril-mayo en desembocadura río Turbo y playa Necoclí (Figura 10.10). Se destaca la presencia de pésimas condiciones en las 4 zonas de muestreo, principalmente en San Juan de Urabá, en la desembocadura del río Mulatos, Damaquiel, San Juan y Volcán; y las playas de Arboletes y Uveros.

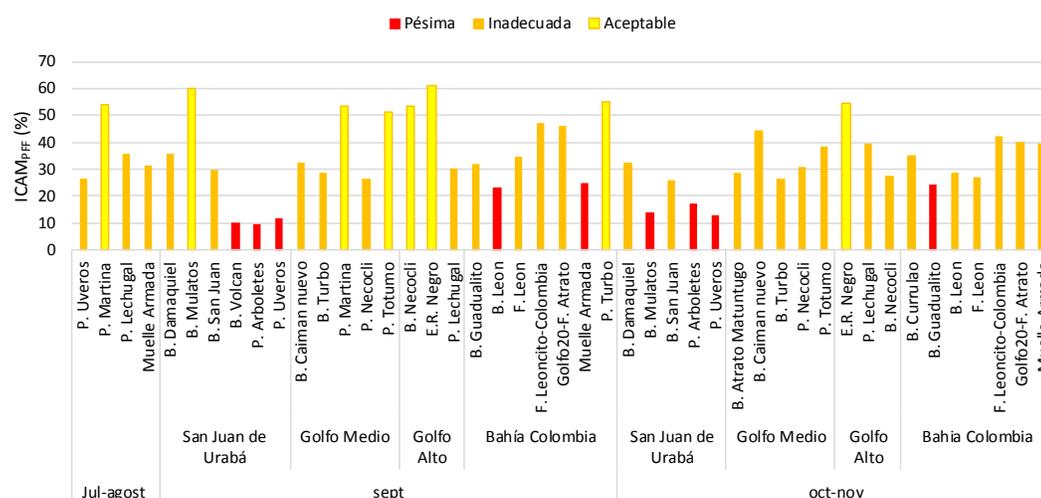


Figura 10.9. Calidad de las aguas en las estaciones marinas y estuarinas de la REDCAM en el departamento de Antioquia en los muestreos de 2016 muestreo de julio-agosto, septiembre y octubre-noviembre, evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

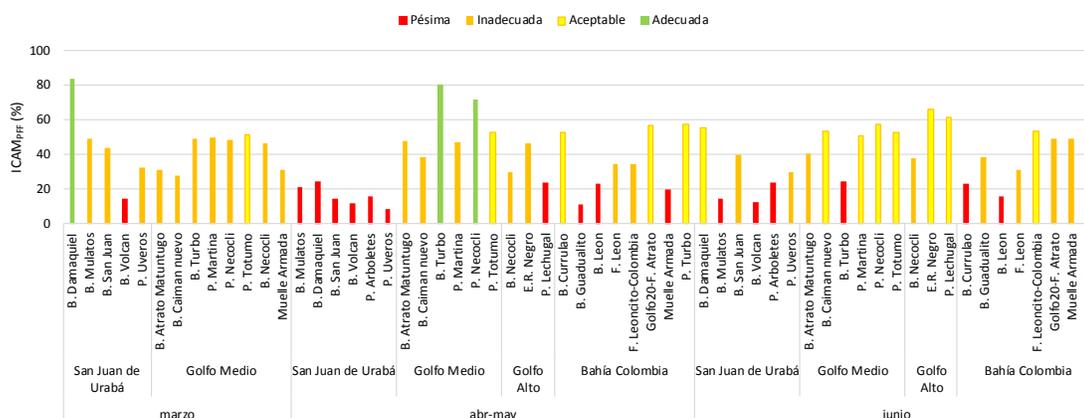


Figura 10.10. Calidad de las aguas en las estaciones marinas y estuarinas de la REDCAM en el departamento de Antioquia en los muestreos de 2017 muestreo de marzo, abril-mayo y junio, evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

En las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia, entre los años 2013 y 2016, han predominado las condiciones entre pésima e inadecuada calidad de las aguas marinas y costeras, para la preservación de fauna y flora (Tabla 10.4). Cabe destacar que en el 2015 se presentaron condiciones adecuadas en todas las zonas; y en Bahía Colombia una estación en óptima calidad; sin embargo, en 2016, la condición adecuada solo se presentó en golfo medio, y además prevalecieron las condiciones pésimas, con un 66% de las estaciones, en particular en San Juan de Urabá, lo cual refleja la alta variabilidad de los tensores que afectan el golfo de Urabá.

Tabla 10.4. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en las zonas del departamento de Antioquia en el periodo desde el 2013 al 2016.

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2013	San Juan de Urabá	17%	33%	50%		
	Golfo Medio		17%	58%	25%	
	Golfo Alto			50%	50%	
	Bahía Colombia	6%	38%	38%	19%	
2014	San Juan de Urabá	71%	29%			
	Golfo Medio	17%		67%	17%	
	Golfo Alto		100%			
	Bahía Colombia		56%	11%	33%	
2015	San Juan de Urabá	25%	42%	8%	25%	
	Golfo Medio		22%	44%	33%	
	Golfo Alto	17%	33%	17%	33%	
	Bahía Colombia	13%	13%	38%	31%	6%
2016	San Juan de Urabá	66%	31%	3%		
	Golfo Medio	11%	52%	33%	4%	
	Golfo Alto	17%	42%	42%		
	Bahía Colombia	18%	51%	31%		

10.3 CALIDAD DE SEDIMENTOS

Durante los muestreos de 2016 y 2017, el laboratorio de aguas de CORPOURABÁ determinó y reportó las concentraciones de metales totales Pb, Cd, Cu y Zinc; mientras que el LABCAM del INVEMAR analizó y determinó las concentraciones de los extractos para hidrocarburos del petróleo equivalente de Criseno (HPDD) en las estaciones de sedimentos.

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo equivalente de criseno, en las muestras del 2016 se presentan en la Figura 10.11. En la zona de Bahía Colombia, en abril de 2016, se registraron HPDD en las desembocaduras del río Guadualito (5,7 µg/g) y Currulao (8,09 µg/g), valores que de acuerdo a la referencia propuesta por Massoud *et al.* (1998) (15 µg/g), indica que en la zona de muestreo no hay contaminación. Sin embargo, los extractos de las muestras 2016 se recibieron en el LABCAM un año después de su extracción, por lo cual es posible que el solvente se volatilizara y por esto las bajas concentraciones, ya que la norma [ICONTEC, 2004](#) recomienda que las muestras se preserven en congelación máximo 6 meses y la [UNEP/IOC/IAEA, 1992](#) indica que el análisis de los extractos sea en un tiempo máximo de 40 días después de la extracción.

En el 2017, las concentraciones de HPDD en los sedimentos de todas las estaciones, estuvieron por encima del valor de referencia (>15µg/g; Massoud *et al.*, 1998), indicando contaminación;

lo cual puede estar asociada a la dinámica portuaria de embarcaciones de menor y mayor calado, en particular al sur del golfo en Bahía Colombia, producto del constante tráfico marino-fluvial a las zonas de fondeo de los buques. Además, se destaca que en el golfo, hay presencia de actividades como los talleres de reparación (astilleros), donde se realizan mantenimientos y reparaciones de las embarcaciones, donde es probable que se este realizando un inadecuado manejo de los subproductos como los aceites, lubricantes y combustibles. Por tanto, la fuente de este contaminante debe ser investigado a mayor detalle y continuar con el muestreo, para ampliar el margen de variabilidad de las condiciones.

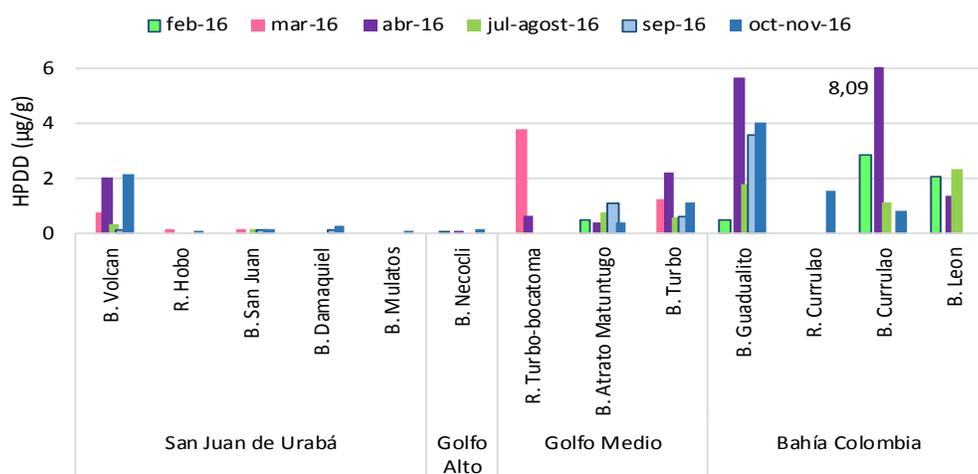


Figura 10.11. Hidrocarburos del petróleo equivalentes de Criseno en los sedimentos en las estaciones del departamento de Antioquia, determinados en los muestreos realizados en febrero, marzo, abril, julio-agosto, septiembre, y octubre-noviembre de 2016.

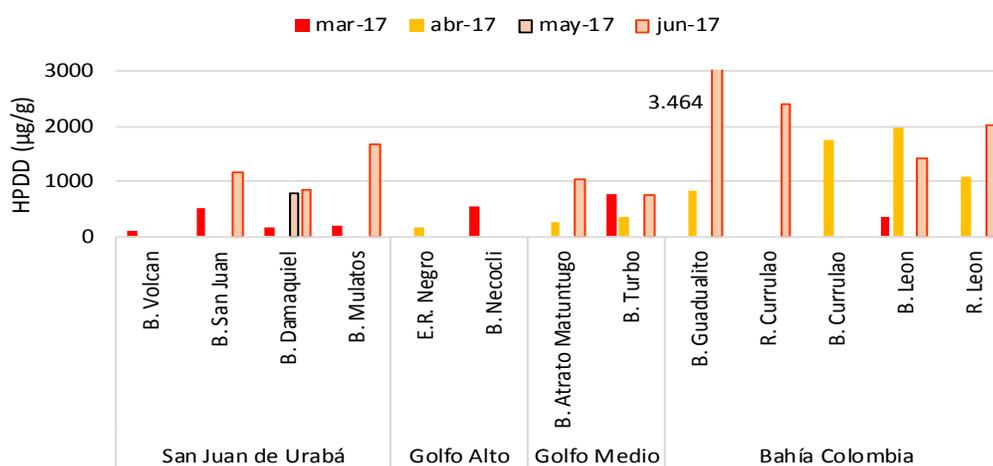


Figura 10.12. Hidrocarburos del petróleo equivalentes de Criseno en los sedimentos en las estaciones del departamento de Antioquia, determinados en los muestreos realizados en marzo, abril, mayo y junio 2017.

Los metales pesados totales (Pb, Cd, Cu, Zn y Hg) medidos se presentan en la Tabla 10.5 y Tabla 10.6. Durante los muestreos de 2016 y 2017, El Pb y el Cd estuvieron por debajo del límite de

cientificación de la técnica utilizada; el Cu y el Zn, no superaron las referencias de efecto de umbral – TEL y de efectos probables – PEL descritos en [Buchman \(2008\)](#).

Tabla 10.5. Metales pesados totales en los sedimentos en las estaciones del departamento de Antioquia, determinados en los muestreos realizados en septiembre, octubre y noviembre de 2016. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y probables (PEL) se tomaron de Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008).

Zona	Estación de muestreo	Fecha	Pb	Cd	Cu	Zn
			µg Pb/g	µg Cd/g	µg Cu/g	µg Zn/g
San Juan de Urabá	Río San Juan	12/09/2016	ND	ND	ND	ND
	Río San Juan	2/11/2016	ND	ND	0,12	106,6
	Río Volcán	12/09/2016	ND	ND	ND	ND
	Desembocadura río Damaquiel	13/09/2016	ND	ND	ND	ND
	Desembocadura río Damaquiel	2/11/2016	ND	ND	0,82	75,26
	Matuntugo Desembocadura río Atrato	26/10/2016	ND	ND	9,4	110,3
	1 Km Afuera río Atrato	26/10/2016	ND	ND	3,8	80,2
	Río Jobo	2/11/2016	ND	ND	0,63	55,8
	Desembocadura río Volcán	2/11/2016	ND	ND	0,36	83,54
	Desembocadura río Mulatos	8/11/2016	ND	ND	ND	91,78
Golfo medio	Río Caimán	1/11/2016	ND	ND	4,34	76,9
	Desembocadura río Necoclí	8/11/2016	ND	ND	ND	53,33
Bahía Colombia	Río Currulao	26/10/2016	ND	ND	5,15	115,6
	Desembocadura río Guadalito	26/10/2016	ND	ND	4,11	75,3
	Muelle Armada	26/10/2016	ND	ND	6,2	91,4
	Desembocadura río León	27/10/2016	ND	ND	ND	ND
Referencia TEL			30	1	19	124
Referencia PEL			112	4	108	271

Tabla 10.6. Metales pesados totales en los sedimentos en las estaciones del departamento de Antioquia, determinados en los muestreos realizados en marzo, abril y junio 2017. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y probables (PEL) se tomaron de Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008).

Zona	Estación de muestreo	Fecha	Pb	Cd	Cu	Zn	Hg
			µg Pb/g	µg Cd/g	µg Cu/g	µg Zn/g	ng/g
San Juan de Urabá	Desembocadura río Mulatos	6/03/2017	0,08	0,00	1,54	94,36	0,00
	Desembocadura río Mulatos	5/06/2017	0,15	0,00	4,22	79,45	
	Ensenada de Rionegro	20/04/2017	0,05	0,00	2,60	76,42	0,00
	Desembocadura río San Juan	8/03/2017	0,15	0,02	4,60	93,50	0,00
	Desembocadura río San Juan	14/06/2017	0,15	0,02	6,32	87,21	
	Desembocadura río Volcan	8/03/2017	0,08	0,01	0,40	98,31	0,00
	Desembocadura río Hobo	9/03/2017	0,15	0,01	2,37	74,15	0,00
	Desembocadura río Damaquiel	8/03/2017	0,12	0,01	0,42	52,47	0,00
	Desembocadura río Damaquiel	3/05/2017	0,10	0,01	8,51	83,62	0,00
	Desembocadura río Damaquiel	14/06/2017	0,12	0,01	3,38	88,72	
Golfo Medio	Desembocadura río Necoclí	6/03/2017	0,17	0,00	3,68	99,84	0,00
	Desembocadura río Atrato - Matuntugo	15/03/2017	0,12	0,01	8,57	83,55	0,00
	Desembocadura río Atrato - Matuntugo	25/04/2017	0,12	0,01	7,61	78,18	0,00
	Desembocadura río Atrato - Matuntugo	13/06/2017	0,14	0,02	4,82	85,46	
	Desembocadura río Caiman Nuevo	13/03/2017	0,04	0,01	0,01	80,62	0,00
	Desembocadura río Caiman Nuevo	19/04/2017	0,01	0,01	5,52	ND	0,00
	Desembocadura río Caiman Nuevo	7/06/2017	0,12	0,01	4,81	83,48	
	Desembocadura río Turbo	7/03/2017	0,13	0,02	3,79	108,84	0,00

Zona	Estación de muestreo	Fecha	Pb	Cd	Cu	Zn	Hg
			µg Pb/g	µg Cd/g	µg Cu/g	µg Zn/g	ng/g
	Desembocadura río Turbo	18/04/2017	0,13	0,01	5,71	87,45	0,00
	Desembocadura río Turbo	6/06/2017	0,14	0,02	4,52	88,90	
Bahía Colombia	Desembocadura río Currulao	15/03/2017	0,15	0,02	5,09	95,16	0,00
	Desembocadura río Currulao	25/04/2017	0,17	0,02	6,02	87,95	0,00
	Desembocadura río Currulao	13/06/2017	0,18	0,02	6,69	78,41	
	Desembocadura río León	16/03/2017	0,12	0,02	7,51	77,71	0,00
	Desembocadura río León	27/04/2017	0,14	0,01	7,13	78,25	0,00
	Desembocadura río León	12/06/2017	0,12	0,02	6,84	77,98	
	1km arriba río León	12/06/2017	0,15	0,01	7,52	87,88	
	Desembocadura río Guadualito	15/03/2017	0,12	0,01	3,28	92,31	0,00
	Desembocadura río Guadualito	27/04/2017	0,15	0,01	4,12	70,34	0,00
	Desembocadura río Guadualito	13/06/2017	0,15	0,02	5,52	100,64	
Referencia TEL			30	1	19	124	130
Referencia PEL			112	4	108	271	700

10.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ La calidad de las aguas marino costeras del departamento de Antioquia de acuerdo con el cálculo del ICAM_{PFF} mostraron que en la mayoría de las estaciones las condiciones fueron desfavorables para la preservación de flora y fauna acuática, atribuido a la alta carga contaminante que transportan los ríos. Por lo que se recomienda, hacer un análisis integrado con la información de las cargas contaminantes que recibe el golfo del continente y promover una gestión integral del recurso hídrico orientada al mejoramiento de la calidad del agua mediante la formulación o aplicación de objetivos de calidad en cada cuenca.
- ❖ El agua de los ríos, desembocaduras y playas presenta contaminación microbiológica y bajas concentraciones de oxígeno disuelto que dificultan el desarrollo de la vida acuática. Lo cual se debe a las descargas de aguas residuales de la zona bananera del Urabá, depositadas de forma directa y por escorrentías en los ríos que desembocan en el golfo y litoral de San Juan de Urabá
- ❖ Se debe promover el cumplimiento de los planes de desarrollo municipales del Urabá, ya que la problemática en la zona costera del golfo de Urabá y San Juan, están identificadas como prioritarias.
- ❖ En las aguas marino costeras del Golfo de Uraba, no se registró contaminación por metales pesados, ya que los valores estuvieron por debajo de los valores de referencia para efectos crónicos y agudos. Sin embargo, se recomienda seguir con el monitoreo en la matriz y revisar la continuidad en las estaciones, que permita aumentar la comparabilidad entre temporalidades.
- ❖ Se evidenció contaminación de hidrocarburos del petróleo equivalente a Criseno en los sedimentos durante el 2017, que podrían representar un riesgo para la conservación de los ecosistemas asociados. Se recomienda investigar la posible fuente directa de este contaminante y continuar con la frecuencia de monitoreo.

CHOCÓ - PACÍFICO

Ostín Garcés - Ordóñez



Nuquí. Foto: Ostín Garcés.

EQUIPO TÉCNICO CODECHOCÓ

Yoileth Ibarguen Mosquera – Subdirector de Calidad y Control Ambiental
Alexis Castro Arriaga – Coordinador Laboratorio de aguas CODECHOCÓ
Danny Yennescy Palomeque Largacha – Ingeniera Ambiental, Contratista

11. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE CHOCÓ

La zona del Pacífico Chocoano se caracteriza por ser la más lluviosas del país, con registros entre 3.000 y 9.000 mm/año ([IDEAM, 2017c](#)). En la franja costera de esta región se encuentran ecosistemas estratégicos como playas de arena, litoral rocoso, manglares y formaciones coralinas, estos últimos presentes en la ensenada de Utría y en Punta Tebada, de tipo franjeante y pocos desarrolladas ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#)) y asentamientos humanos con deficiencias en los servicios de saneamiento básico y agua potable, en donde también se desarrollan actividades de explotación de recursos hidrobiológicos, maderables y mineros, actividades portuarias y agropecuarias que directa o indirectamente afectan negativamente el recurso hídrico y los ecosistemas marino-costeros, causando deterioro de la calidad ambiental.

Con el propósito de obtener información que facilite la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó – CODECHOCÓ, para el manejo integral del medio ambiente marino, la REDCAM viene realizando desde el año 2001 el monitoreo de calidad de las aguas marinas y costeras del departamento. El presente capítulo contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas y sedimentos marinos y costeros con base a los muestreos realizados en el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017 en estaciones ubicadas entre los municipios de Bahía Solano y Nuquí, región Pacífico colombiano.

11.1 ZONAS DE MONITOREO

Para evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento del Chocó, la REDCAM cuenta con una red de 16 estaciones de muestreo, distribuidas en dos zonas: Bahía Solano y Golfo de Tribugá (Figura 11.1).

La zona **Bahía Solano**, corresponde a la costa norte del municipio del mismo nombre, en donde se tiene cinco estaciones: playa Huina, quebrada Chocolatal, río Jella, frente Bahía Solano y Bahía Solano, en esta última estación se muestrea sedimentos superficiales para el análisis de contaminantes.

La zona **Golfo Tribugá**, comprende el área costera desde playa Almejal al sur del municipio de Bahía Solano, hasta el centro urbano del municipio de Nuquí. En esta zona se encuentra el Parque Nacional Natural Utría y la ensenada de Tribugá. Cuenta con 11 estaciones de muestreo de agua superficial, distribuidas en las playas Almejal, Jurubidá, Tribugá y Nuquí, en el río Valle y su frente, ensenada Utría, los esteros Jurubidá y Tribugá y en el río Nuquí y su frente (Figura 11.1).

Los muestreos fueron realizados por INVEMAR, en compañía de CODECHOCÓ, el 12 de diciembre de 2016 (en adelante, diciembre de 2016) y el 25 de abril de 2017 (en adelante, abril de 2017). Ambos muestreos se realizaron terminando el reflujó mareal y durante el flujó mareal. En noviembre de 2016, se registraron precipitaciones hasta de 100 mm diarios con una precipitación acumulada mensual de 650 mm, en diciembre de 2016, se presentó precipitación acumulada de 570 mm, y en abril de 2017 de 550 mm ([IDEAM, 2017a](#)).

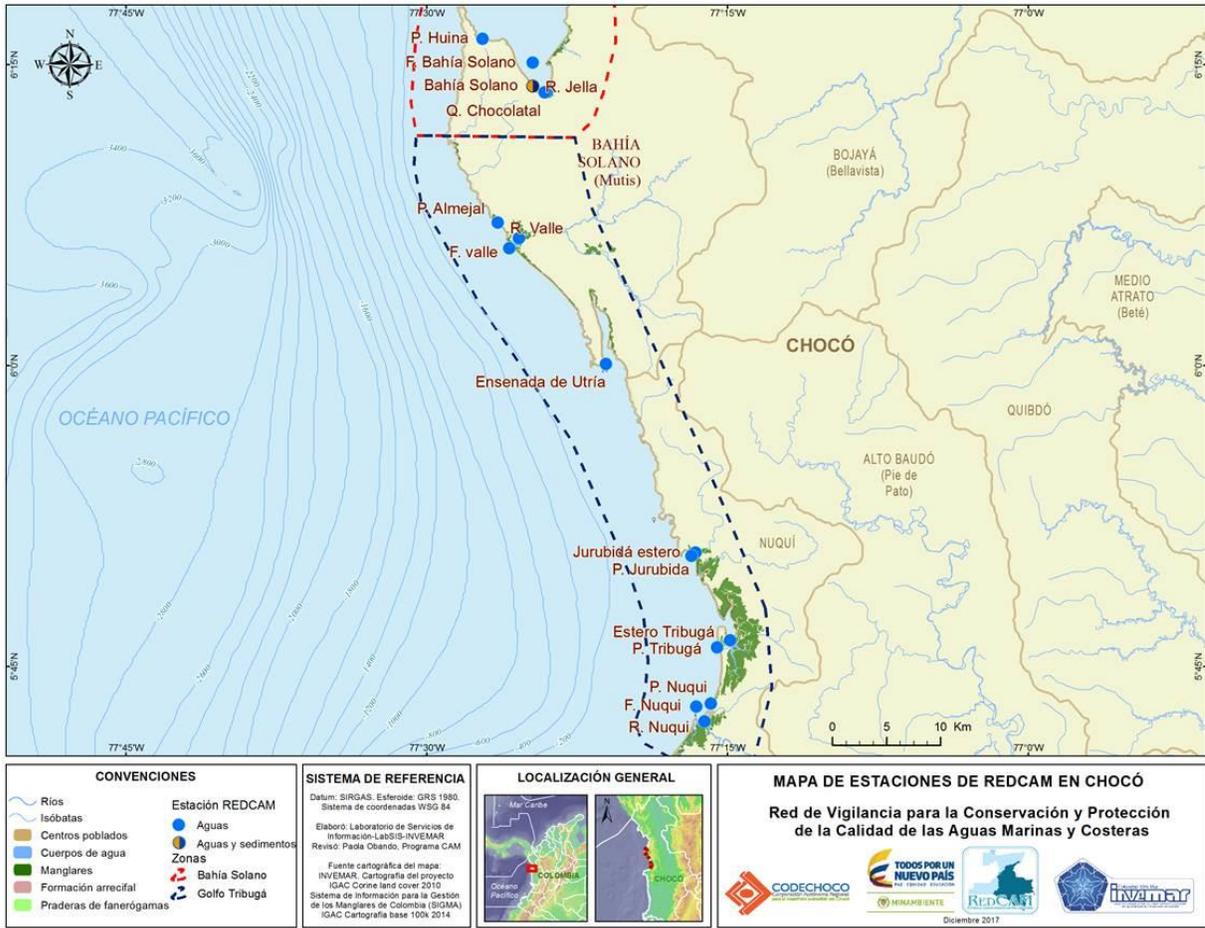


Figura 11.1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos azules y marrón con azul) en el departamento del Chocó.

11.2 CALIDAD DE AGUAS

La temperatura del agua superficial en las estaciones REDCAM en Chocó durante los muestreos de diciembre de 2016 y abril de 2017, se muestra en la Tabla 11.1. Las mayores temperaturas se registraron en el muestreo de abril de 2017, época en la que se presentaron menores precipitaciones y una mayor radiación solar que osciló entre 2,5 y 3,0 kWh/m², en comparación con el mes de diciembre, donde hubo mayores aportes de agua dulce y una menor radiación solar que osciló entre 2,0 y 2,5 kWh/m² (IDEAM, 2017a; IDEAM, 2017d). En las estaciones de los ríos y esteros, la temperatura del agua varió entre 25 y 29,4 °C, con promedios de 26,1 ± 1,4 °C en el muestreo de abril de 2017 y de 26,9 ± 1,5 °C en diciembre de 2016. En las estaciones de agua marina, la temperatura fue mayor que las estaciones de los ríos y esteros, la cual osciló entre 27,3 y 29,4 °C, y fue más cálida en el muestreo de abril de 2017 (28,3 ± 0,7 °C), en comparación con el muestreo de diciembre de 2017 (27,8 ± 0,4 °C).

Tabla 11.1. Temperatura del agua superficial registrada de las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, en diciembre de 2016 y abril de 2017.

Zona	Estación	dic-16		abr-17	
		Hora	Temperatura (°C)	Hora	Temperatura (°C)
Bahía Solano	P. Huina	06:18	27,5	14:18	29,0
	F. Bahía Solano	13:20	28,1	15:13	28,8
	Bahía Solano	13:27	28,2	14:38	29,4
	Q. Chocolatal	14:11	25,0	11:16	26,1
	R. Jella	13:40	28,1	15:30	29,4
Golfo Tribugá	P. Almejal	07:07	27,5	13:32	27,9
	R. Valle	12:21	25,3	12:29	26,4
	F. Valle	07:16	28,0	13:16	27,7
	Ensenada de Utría	07:40	27,9	11:49	28,0
	Jurubidá Estero	08:45	25,5	10:49	26,0
	P. Jurubidá	09:17	27,3	10:29	27,9
	Estero Tribugá	09:35	27,5	10:01	28,0
	P. Tribugá	09:47	28,4	09:41	28,2
	P. Nuquí	10:00	27,6	09:15	27,3
	F. Nuquí	10:09	27,6	08:49	26,8
	R. Nuquí	10:29	25,0	08:21	25,5

En diciembre de 2016 la salinidad del agua superficial en las estaciones de muestreo osciló entre 0 y 31,4 y en abril de 2017 entre 0 y 33,6 (Figura 11.2). De acuerdo con la clasificación de las aguas por la salinidad descrita en [Knox \(2001\)](#), la mayoría de playas y las estaciones en Bahía Solano se clasifican como aguas marinas oligohalinas (>17-30) y mesohalinas (>30-34). La playa de Jurubidá presentó una salinidad de 12 unidades en el muestreo de diciembre de 2016, debido a que en el momento de la medición estaba empezando el flujo mareal y había mayor aporte del río Jurubidá que desemboca en esta playa. El río Jella por su parte, presentó salinidades que clasifican las aguas como marinas, debido a que al momento de las mediciones la marea estaba alta en horas de la tarde.

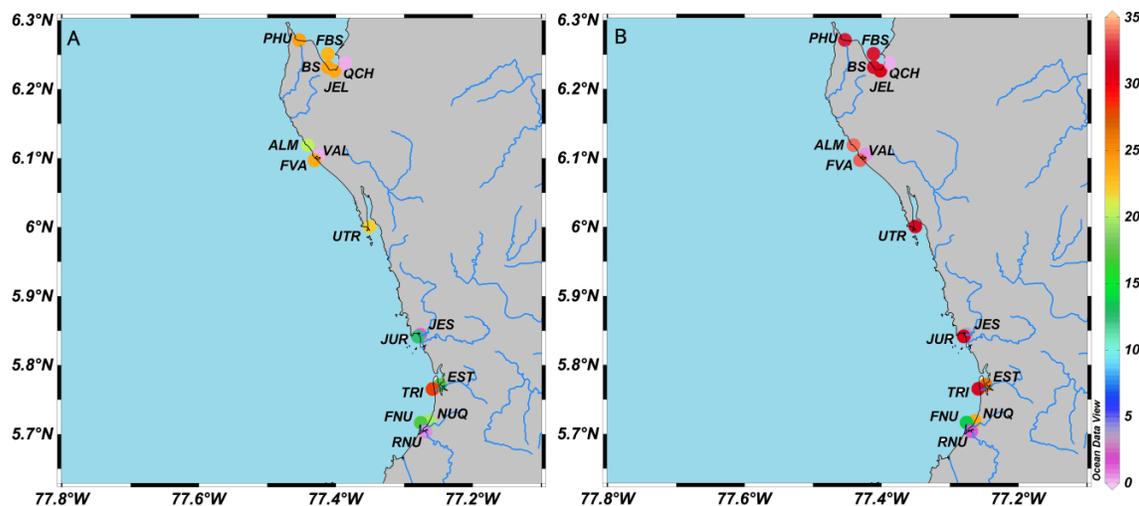


Figura 11.2. Salinidad del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, en diciembre de 2016 (A) y abril de 2017 (B). Estaciones: FBS: F. Bahía Solano, QCH: Q. Chocolatal, BS: Bahía Solano, PHU: P. Huina, ALM: P. Almejal, VAL: R. Valle, FVA: F. Valle, UTR: Ensenada de Utría, JUR: P. Jurubidá, JES: Jurubidá Estero, EST: Estero Tribugá, TRI: Tribugá, NUQ: P. Nuquí, FNU: F. Nuquí, JEL: R. Jella y RNU: R. Nuquí.

El oxígeno disuelto (OD) fluctuó entre 5,43 y 8,53 mg O₂/L en diciembre de 2016 y entre 4,85 y 7,77 mg O₂/L en abril de 2017, valores que se consideran adecuados para la biota acuática aerobia, al estar por encima del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce, marinas y estuarinas de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984 (4 mg O₂/L; [MinSalud, 1984](#); Figura 11.3).

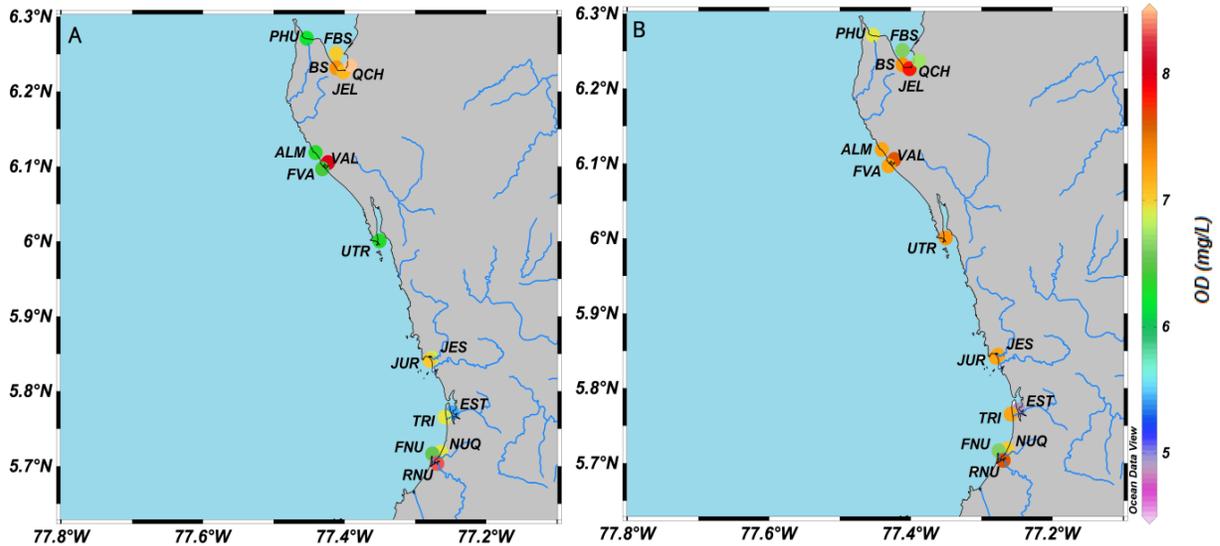


Figura 11.3. Oxígeno disuelto -OD (mg/L) en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, en los muestreos de diciembre de 2016 (A) y abril de 2017 (B). Estaciones: FBS: F. Bahía Solano, QCH: Q. Chocolatal, BS: Bahía Solano, PHU: P. Huina, ALM: P. Almejal, VAL: R. Valle, FVA: F. Valle, UTR: Ensenada de Utría, JUR: P. Juribidá, JES: Juribidá Estero, EST: Estero Tribugá, TRI: Tribugá, NUQ: P. Nuquí, FNU: F. Nuquí, JEL: R. Jella y RNU: R. Nuquí.

En la Figura 11.4 se presenta el comportamiento histórico de los promedios de OD registrados en las zonas de muestreo de la REDCAM. En la zona de Bahía Solano el OD se ha mantenido en valores por encima del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna (Figura 11.4a), solo un registro de oxígeno por debajo del criterio de calidad se encontró en la estación del río Jella (3,93 mg de O₂/L) en el año 2002. La zona Golfo de Tribugá, se ha registrado mayor número de casos de incumplimiento del criterio de calidad, por ejemplo en el año 2001 (Figura 11.4b) en el río Nuquí y su desembocadura se registraron valores de 1,2 y 1 mg de O₂/L respectivamente, valores que fueron asociados a vertimientos de aguas residuales de la actividad minera ([INVEMAR, 2001](#)), a esto se suma los residuos de la población de Nuquí, quienes han vertido directamente sus residuos al río Nuquí; y en el 2004, en el estero Tribugá también se registró un valor inferior al criterio de calidad de la legislación nacional de 3,6 mg de O₂/L.

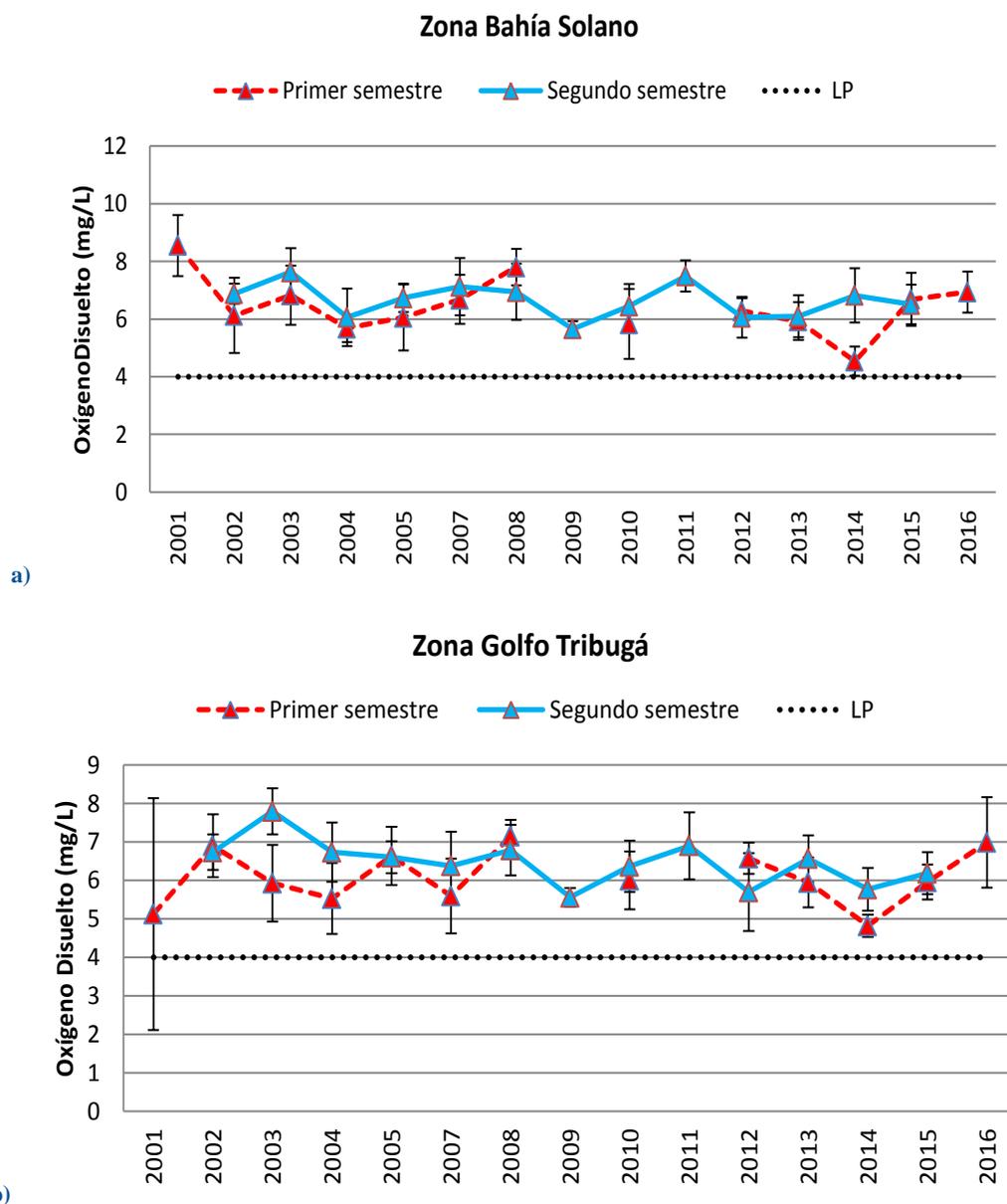


Figura 11.4. Promedios de oxígeno disuelto en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Chocó, en el primer semestre y segundo semestre de los años entre 2001 y 2016. La línea negra punteada en 4,0 mg de O₂/L indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

El pH en los muestreos de diciembre de 2016 y abril de 2017 osciló entre 7,35 y 8,52, valores que estuvieron dentro de los rangos permisibles para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce, marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (Figura 11.5).

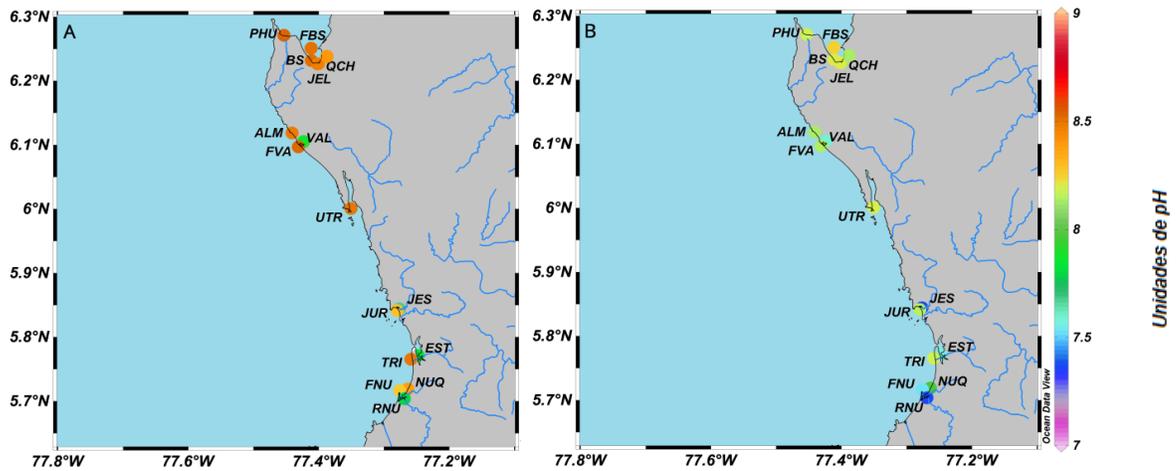


Figura 11.5. Valores de pH del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, en los muestreos de diciembre de 2016 (A) y abril de 2017 (B). Estaciones: FBS: F. Bahía Solano, QCH: Q. Chocolatal, BS: Bahía Solano, PHU: P. Huina, ALM: P. Almejal, VAL: R. Valle, FVA: F. Valle, UTR: Ensenada de Utría, JUR: P. Jurubidá, JES: Jurubidá Estero, EST: Estero Tribugá, TRI: Tribugá, NUQ: P. Nuquí, FNU: F. Nuquí, JEL: R. Jella y RNU: R. Nuquí.

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 1,2 y 82,9 mg/L, registrándose en la mayoría de las estaciones los valores más altos en el muestreo de abril de 2017, en comparación con el muestreo de diciembre del 2016, principalmente en la playa de Nuquí, la cual tiene influencia del río Nuquí (Figura 11.6). Comparando los resultados de SST con la referencia de clasificación de calidad de las aguas propuesta por [CONAGUA \(2015\)](#), en la mayoría de las estaciones el agua superficial tuvo calidad excelente y buena, con valores menores de 25 y 75 mg/L, respectivamente (Figura 11.6). La playa Nuquí, en el muestreo de abril de 2017, tuvo calidad aceptable, debido a que en esta estación desemboca el estero Jurubidá que aporta solidos suspendidos a la zona de la playa.

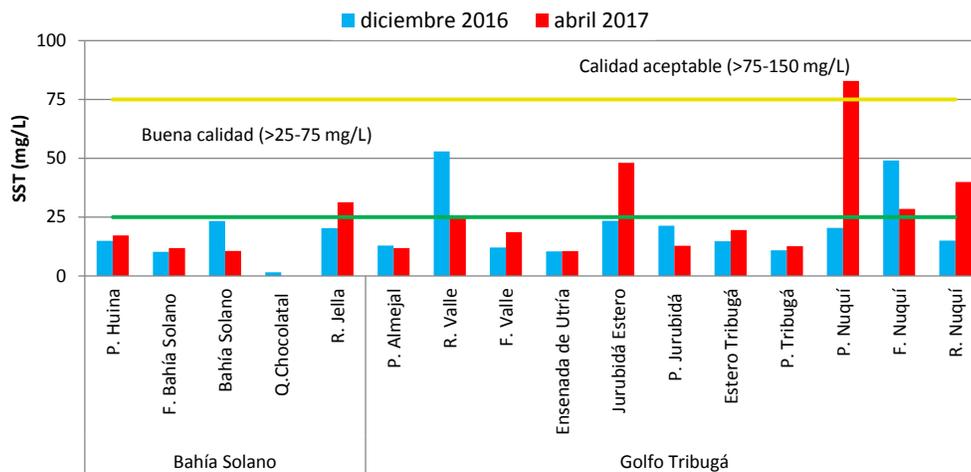


Figura 11.6. Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Chocó, en los muestreos de diciembre de 2016 y abril de 2017. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Históricamente el agua superficial de las zonas de muestreo en el Pacífico Chocoano ha tenido bajas concentraciones de SST. Solo en algunos casos, como en el río Nuquí en el 2003 (643 mg de SST/L), 2004 (611 mg de SST/L) 2008 (155 mg de SST/L) y en el 2010 (1686 mg de SST/L); el río Valle en el 2007 (944 mg/L), 2013 (200 mg/L) y 2015 (192 mg/L), la quebrada Chocolatal en el 2008 (170 mg/L) y el estero Tribugá en 2008 (766 mg/L) y 2012 (261 mg/L; [INVEMAR, 2017a](#)), el agua se ha clasificado como contaminada, ya que los contenidos de SST han superado los 150 mg/L que es el valor de referencia de [CONAGUA \(2015\)](#). Estos valores altos de SST están asociados a procesos erosivos, producto de la deforestación de rondas hídricas, recepción de escorrentías de áreas de cultivo y de vertimientos de aguas residuales, provenientes de poblaciones ribereñas como Nuquí, Valle y Bahía Solano, entre otros, que pudieron incrementarse por el aumento en las precipitaciones debido a la ocurrencia del fenómeno de La Niña presentado en los años 2008, 2011 y 2012 ([IDEAM, 2018](#)).

Con respecto a los nutrientes inorgánicos disueltos, en la Figura 11.7 se presentan los resultados obtenidos de los muestreos realizados en diciembre de 2016 y abril de 2017. Las mayores concentraciones de amonio ionizado (N-NH_4^+) se registraron en las estaciones río Nuquí (49 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) y frente del río Nuquí (49,9 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$; Figura 11.7a) de la zona Golfo Tribugá, cuya fuente principal es el vertimiento de aguas residuales de la población de Nuquí. En estas estaciones las concentraciones históricas más altas fueron de 168 y 111 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$ registradas en el 2012 y 2010 respectivamente ([INVEMAR, 2017a](#)). En el río Jella, también se han registrado valores más elevados de amonio, en los años 2009 (371 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$), 2012 (375 $\mu\text{g/L}$) y 2013 (241 $\mu\text{g/L}$; [INVEMAR, 2017a](#)), debido a que a este río llegan por escorrentías lixiviados del basurero a cielo abierto del municipio de Bahía Solano y además circula por áreas urbanas del mismo municipio, donde recibe aguas residuales. A pesar de que para esta forma ionizada del amonio aún no se tiene límite permisible para la preservación de flora y fauna en agua dulce, marinas y estuarinas en normas nacionales ([MinSalud, 1984](#)) y guías internacionales ([EPA, 1976](#); [EPA, 1980](#); [CCME, 2010](#)), las altas concentraciones indican contaminación por vertimientos de aguas residuales que afectan la calidad del agua y puede provocar eutroficación ([Cárdenas y Sánchez, 2013](#)).

Los nitritos (N-NO_2^-) se encontraron en bajas concentraciones, al igual que las concentraciones de amonio y de nitratos, el valor más alto se registró frente del río Nuquí (2,1 $\mu\text{g de N-NO}_2^-/\text{L}$) en el muestreo de abril de 2017 (Figura 11.7b). Históricamente, las concentraciones más altas de nitritos y nitratos se han registrado en la estación playa de Tribugá en el 2004 (15,63 $\mu\text{g de N-NO}_2^-/\text{L}$) y en la estación bahía Solano en el 2012 (659 $\mu\text{g de N-NO}_3^-/\text{L}$) ([INVEMAR, 2017a](#)).

Los ortofosfatos oscilaron entre el límite de cuantificación de la técnica analítica utilizada en el LABCAM del INVEMAR (<2,4 $\mu\text{g de P-PO}_4^{3-}/\text{L}$) y 38 $\mu\text{g de P-PO}_4^{3-}/\text{L}$ (Figura 11.7c). Históricamente (2001 - 2016) las concentraciones de ortofosfatos han oscilado entre límite de cuantificación y 242 $\mu\text{g de P-PO}_4^{3-}/\text{L}$. La concentración más elevada se reportó en la estación río Jella, en el año 2009, lo cual está asociado con vertimientos de aguas residuales y escorrentías con lixiviados del basurero del pueblo ([INVEMAR, 2017a](#)).

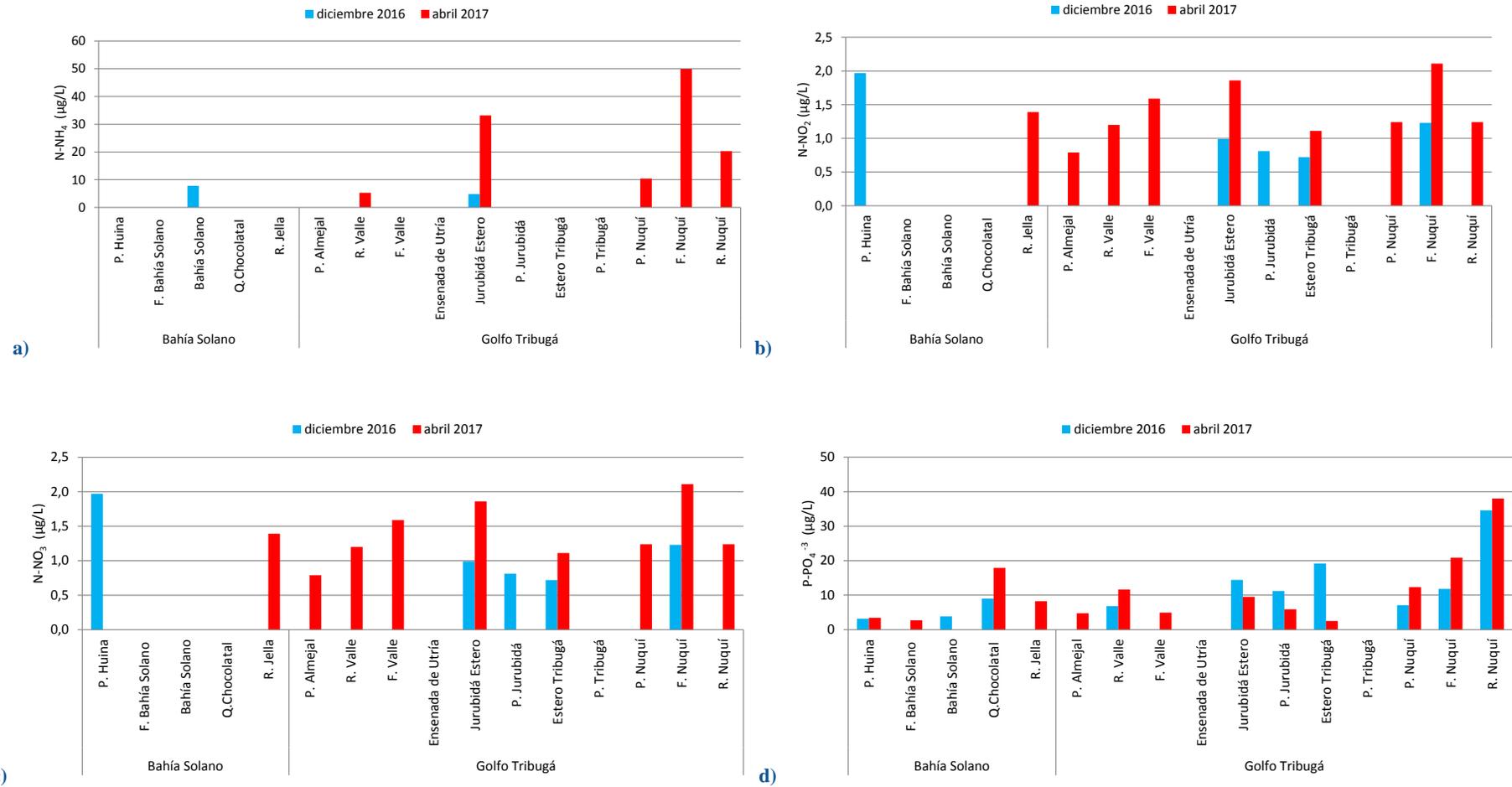


Figura 11.7. Concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitritos (N-NO₂⁻), c) nitratos (N-NO₃⁻) y d) ortofosfatos (P-PO₄⁻³), en el agua superficial de las estaciones de muestreo REDCAM del departamento de Chocó, en los muestreos de diciembre de 2016 y abril de 2017.

La calidad microbiológica del agua en las estaciones de muestreo, se evaluó con las concentraciones de coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE). Los CTT oscilaron entre 240 y 16.000.000 NMP/100 mL en el muestreo de diciembre de 2016 y entre 280 y 130.000 NMP/100 mL en el muestreo de abril de 2017, registrándose las mayores concentraciones en las estaciones de los ríos, esteros y en la quebrada Chocolatal (Tabla 11.2), lo cual indica contaminación microbiológica por aguas residuales, debido a que en las laderas de estos ríos se encuentran asentamientos humanos que no cuentan con sistemas de saneamiento básico y también se desarrollan actividades de ganadería que contribuyen con la contaminación microbiológica, específicamente en Jurubidá.-

En los muestreos de diciembre de 2016 y abril de 2017, las playas Huina, Almejal, Tribugá y Nuquí, presentaron concentraciones de CTT por encima del límite permisible para el uso recreativo del agua por contacto primario (1.000 NMP/100 mL; Tabla 11.2). La playa de Jurubidá tuvo condición inadecuada en el muestreo de diciembre de 2016 (>1.600 NMP/100 mL), y en abril de 2017 la condición fue adecuada para el uso recreativo por contacto primario (Tabla 11.2). Históricamente las concentraciones más elevadas se han registrado en los ríos Jella, con un rango histórico entre 7.800 y 2.400.000 NMP/100 mL, seguido por el río Valle, quebrada Chocolatal y el río Nuquí (Tabla 11.2).

Los CTE fluctuaron entre 2 y 78.000 NMP/100 mL, confirmando la contaminación de origen fecal en las aguas de las estaciones de los ríos, la quebrada Chocolatal y las playas Huina, Almejal, Jurubidá y Nuquí. En el muestreo de diciembre de 2016, el 93% de las estaciones sobrepasaron los 200 NMP/100 mL, límite permisible para el uso recreativo del agua por contacto primario (natación y buceo), mientras que en el muestreo de abril de 2017, el 43% de las estaciones superó el límite permisible (Tabla 11.2), lo cual indica que hay una alta incidencia en la contaminación microbiológica de las aguas, por vertimientos de aguas residuales de las viviendas y hoteles cercanos y por escorrentías de áreas ganaderas.

Tabla 11.2. Concentraciones de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Chocó, en los muestreos de diciembre de 2016 y abril de 2017. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de MinSalud (1984). No medidos (-).

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		dic-16	abr-17	Rango histórico	Percentil 90	dic-16	abr-17	Rango histórico	Percentil 90
Bahía Solano	P. Huina	>1.600	1.600	20-3.000	800	1.600	140	20-3.000	330
	F. Bahía Solano	920	350	7,8-2.400	2.400	920	2	4,5-1.300	1.300
	Bahía Solano	350	920	130-38.730	4.360	350	12	45-2.400	1.700
	Q.Chocolatal	280.000	22.000	800-524.700	92.000	46.000	4.500	400-200.000	50.000
	R. Jella	1.600.000	49.000	7800-2.400.000	540.000	12.000	4.000	2300-540.000	240.000
Golfo Tribugá	P. Almejal	>1.600	1.600	20-9.000	2.400	1.600	2	18-3.500	500
	R. Valle	16.000.000	49.000	2300-1.300.000	170.000	78.000	2.000	200-170.000	34.000
	Ensenada de Utría	240	280	20-8.000	3.000	240	4,5	10-2.400	490
	Jurubidá Estero	-	-	40-46.000	46.000	-	-	20-46.000	46.000
	P. Jurubidá	>1.600	920	40-2.800	2.400	>1.600	34	13-490	400
	Estero Tribugá	>1.600	1.600	20-24.000	5.000	540	33	20-16.000	5.000

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		dic-16	abr-17	Rango histórico	Percentil 90	dic-16	abr-17	Rango histórico	Percentil 90
	P. Tribugá	>1.600	>1.600	2-3.500	1.918	70	17	2-230	210
	P. Nuquí	>1.600	>1.600	78-28.000	3.500	>1.600	430	<1,0-22.000	1.700
	F. Nuquí	>1.600	16.000	20-16.000	9.200	>1.600	2.800	20-9.200	9.200
	R. Nuquí	>1.600.000	130.000	1.700-330.000	178.000	27.000	9.300	450-160.000	24.000
Límite permisible contacto primario		1.000				200			
Límite permisible contacto secundario		5.000				-			

Las concentraciones de enterococos fecales (EFE) en las estaciones de playa de importancia turística se presentan en la Tabla 11.3. La concentración de EFE más elevada se registró en la estación playa de Nuquí (288 UFC/100 mL), en el muestreo de abril de 2017. En esta playa desemboca el río Nuquí, el cual recibe las aguas residuales de la población de Nuquí. Este valor que superó el rango histórico y según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003) representa un riesgo entre el 5 y 10% de contraer enfermedades gastrointestinales agudas (EGI) y entre 1,9 y 3,9% de contraer enfermedades febriles agudas (ERFA) (Tabla 11.3). En el muestreo de diciembre de 2016, las playas playa Huina (96 UFC/100 mL) y Almejal (42 UFC/100 mL) presentaron concentraciones mayor de 40 UFC/100 mL, lo cual representa un riesgo entre 1 y 5% de contraer EGI y entre 0,3 y 1,9% de contraer ERFA. La concentración de EFE en la playa Huina también superó el registro histórico 2001-2016 de 5 UFC/100 mL, sin embargo, puede deberse a un evento puntual que pudo estar asociado a la actividad turística.

Tabla 11.3. Enterococos fecales (EFE) medidos en las estaciones de playa de REDCAM Chocó en los muestreos de diciembre de 2016 y abril de 2017, y el registro histórico 2001-2016. Valor de referencia de la OMS (2003) para el riesgo de contraer enfermedades Gastrointestinales (EGI) y Respiratoria Febril Aguda (ERFA) respectivamente. No medido (-).

Zona	Estación	EFE (UFC/100 mL)					
		dic-16	Rango histórico segundo semestre (2001-2016)	Percentil 90	abr-17	Rango histórico segundo primer (2001-2016)	Percentil 90
Bahía Solano	P. Huina	96	<1-5	5	26	<1-10	10
Golfo Tribugá	P. Almejal	42	<1-54	54	3	<1-28	28
	Ensenada de Utría	5	<1-25	25	1	<1-32	32
	P. Jurubidá	29	<1-59	59	48	<1-35	35
	P. Tribugá	6	<1-17	17	14	<1-12	12
	P. Nuquí	54	<1-57	57	288	<1-40	40
Valores de referencia OMS (2003)		≤40 UFC/100 mL, <1% de contraer EGI y <0,3% de contraer ERFA. 41–200 UFC/100 mL, 1–5% de EGI y 0,3-1,9% de ERFA. 201–500 UFC/100 mL, 5–10% de EGI y 1,9–3,9% de ERFA. >500 UFC/100 mL, >10% de EGI y >3,9% de ERFA					

Los hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) oscilaron entre el límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM ($<0,07 \mu\text{g/L}$) y un máximo de $11,94 \mu\text{g/L}$ (Figura 11.8). La concentración más elevada se registró en Jurubidá estero ($11,94 \mu\text{g/L}$) en diciembre de 2016, valor que superó la referencia para aguas contaminadas con petróleo ($>10 \mu\text{g/L}$; [UNESCO, 1984](#); [Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-González et al., 2004](#)). En este estero, hay un muelle donde las embarcaciones llegan al pueblo de Jurubidá, y además en este sector hay venta de combustible que puede ser fuente de este contaminante. Sin embargo, esta concentración corresponde a un evento puntual, ya que en el registro histórico de la estación Jurubidá estero, los HPDD han oscilado entre $<0,07$ y $1,33 \mu\text{g/L}$. En las demás estaciones, las concentraciones determinadas se consideran como niveles de contaminación no significativos ([Acuña-González et al., 2004](#)).

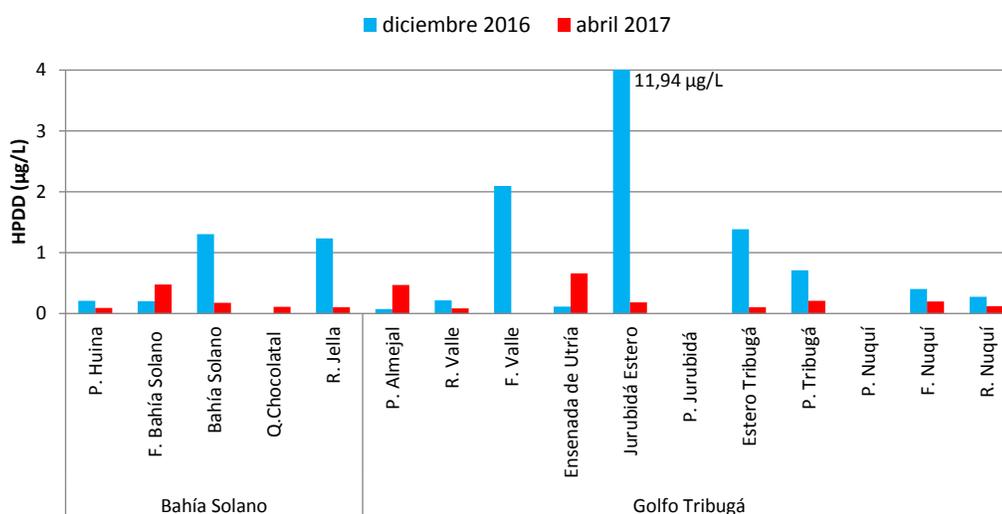


Figura 11.8. Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Chocó, en los muestreos de diciembre de 2016 y abril de 2017.

En la Figura 11.9 se muestran los promedios históricos de las concentraciones de HPDD. En la zona de Bahía Solano, se han registrado dos casos en los cuales las concentraciones sobrepasan la referencia para aguas contaminadas por hidrocarburos ($>10 \mu\text{g/L}$; [UNESCO, 1984](#); [Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-González et al., 2004](#)). En el año 2001 en la estación Bahía Solano se registró una concentración de $13,88 \mu\text{g/L}$, posteriormente en el 2003, en frente a Bahía Solano se reportó un valor de $13,95 \mu\text{g/L}$, en esta zona se encuentra el muelle donde atracan las embarcaciones que llegan a bahía Solano y también se encuentra un expendio de combustible, los cuales posiblemente serían la fuente de este contaminante.

En la zona del golfo de Tribugá, solo en el año 2014 se registró un valor de $49,33 \mu\text{g/L}$ en la estación frente del río Nuquí, que correspondió a un evento puntual de derrame proveniente del río Nuquí, en donde hay expendio de combustibles, ya que en los monitoreo anteriores y posteriores, las concentraciones estuvieron entre $0,07$ y $3,37 \mu\text{g/L}$ ([INVEMAR, 2017a](#)).

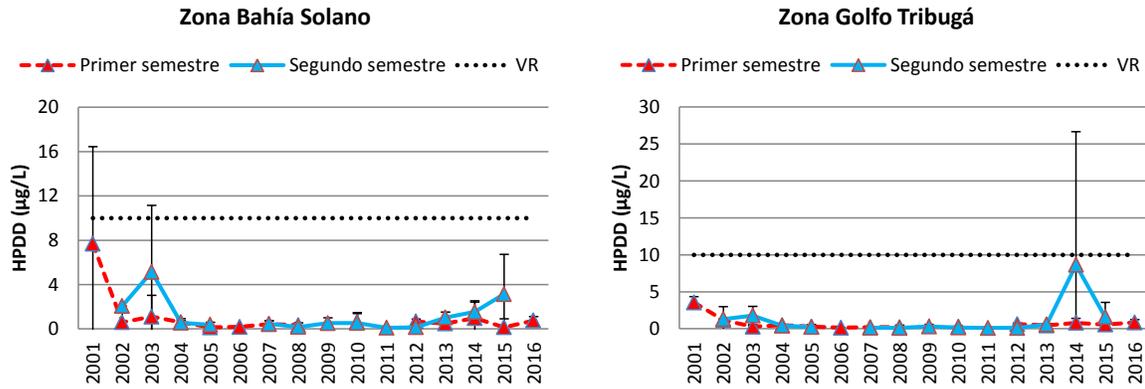


Figura 11.9. Promedio de las concentraciones de Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de criseno (HPDD) registradas entre los años 2001 y 2016 en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Chocó. Valores de referencia (VR) de >10 µg/L para aguas contaminadas (UNESCO, 1984).

Los plaguicidas organoclorados y organofosforados evaluados en los muestreos de diciembre de 2016 y abril de 2017 estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR. No obstante, históricamente, se han registrado compuestos organoclorados en el agua superficial de algunas estaciones de Chocó, como el DDT (DDT+metabolitos) en las estaciones de los ríos Jella (17 ng/L en 2009), Valle (21,3 ng/L en 2009), Nuquí (26,3 ng/L en 2005), en la Quebrada Chocolatal (13,6 ng/L en 2009) y en las ensenadas de Tribugá (2,6 ng/L en el 2008) y Utría (2,6 ng/L en el 2007), en los cuales ha superado el valor de referencia de 1 ng DDT/L para efecto crónico en la biota acuática de aguas dulce, marina y estuarina propuesto por [EPA \(2016\)](#); así como los aldrines (suma de endrin, diendrin y aldrin) en los años entre 2002 y 2008, en concentraciones que oscilan entre 0,2 y 7,6 ng/L en la quebrada Chocolatal, los ríos Nuquí, Jella y Valle, en el estero de Tribugá y Jurubidá y en la ensenada de Utría, aunque no superaron la referencia para efectos crónicos en agua dulce (17 ng Aldrín/L), pero si superó la referencia de efectos crónicos en la biota acuática de agua marina y estuarina (1,9 ng Diendrin/L; [EPA, 2016](#)). Heptacloro total (suma de heptacloro y heptacloroepóxido) entre 0,2 y 17,7 ng/L en los años 2002, 2003, 2004, 2005, 2007 y 2008 en el río Jella, Jurubidá estero y quebrada Chocolatal, valores cuantificados que en mayor proporción (54%) estuvieron por encima de la referencia de efectos crónicos en biota de agua dulce (1,9 ng heptacloro/L) y marina (1,8 ng heptacloro/L); [EPA, 2016](#); y hexaclorociclohexano entre 0,2 y 5,1 ng/L en los años 2002, 2005, 2007, 2008 y 2010 en el río Nuquí y la ensenada de Utría que no superaron la referencia para efecto crónico para biota en aguas dulce (10000 ng/L) y marinas (34 ng/L; [Buchman, 2008](#)) ([INVEMAR, 2017a](#)). Estos resultados indican que residuos tóxicos de plaguicidas han ingresado al medio marino y que han llegado a concentraciones que representan un riesgo para la biota acuática en la zona marino costera del departamento.

En cuanto a los metales pesados disueltos (Cd, Pb, Cu, Zn y Ni), las concentraciones determinadas en los muestreos de diciembre de 2016 y abril de 2017 se presentan en la Tabla 11.4. Los metales Cd y Cu en los dos muestreos estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR, el mismo resultado se obtuvo con el Pb, Zn y Ni en abril de 2017. Estos resultados estuvieron además por debajo de los valores de referencia para efectos crónicos en aguas dulces y marinas ([Buchman,](#)

2008; CONAMA, 2005), por lo tanto no representaron un riesgo para la biota acuática. Los demás metales cuantificados cuyos resultados se muestran en la Tabla 11.4 tampoco superaron los valores de referencia para efectos crónicos.

Tabla 11.4. Metales pesados disueltos medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Chocó. Los valores de referencia corresponde a las Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008).

Zona	Estación	Cd (µg/L)		Pb (µg/L)		Cu (µg/L)		Zn (µg/L)		Ni (µg/L)		Fe (µg/L)	
		dic-16	abr-17	dic-16	abr-17	dic-16	abr-17	dic-16	abr-17	dic-16	abr-17	dic-16	abr-17
Bahía Solano	P. Huina	<0,42	<0,42	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	1,40	<1,0	10,9	7,90
	F. Bahía Solano	<0,42	<0,42	4,00	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	<4,7
	Bahía Solano	<0,42	<0,42	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	6,69	<4,7
	R. Jella	<0,42	<0,42	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	1,31	<1,0	11,5	<4,7
Golfo Tribugá	R. Valle	<0,42	<0,42	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	1,59	<1,0	22,9	12,6
	F. Valle	<0,42	<0,42	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	11,0	<6,9	<1,0	<1,0	12,2	<4,8
	Ensenada de Utría	<0,42	<0,42	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	1,68	<1,0	8,35	<4,7
	Jurubidá Estero	<0,42	<0,42	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	1,59	<1,0	12,1	13,7
	Estero Tribugá	<0,42	<0,42	3,27	<3,1	<0,9	<0,9	7,29	<6,9	<1,0	<1,0	5,28	6,97
	P. Tribugá	<0,42	<0,42	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	<4,7
	F. Nuquí	<0,42	<0,42	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	6,03	6,58
R. Nuquí	<0,42	<0,42	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	15,0	13,8	
Referencia Efectos crónicos agua marina		8,8		8,1		3,1		81		8,2		50	
Referencia Efectos crónicos agua dulce		0,25		2,5		9		120		52		350	

11.2.1 Calidad del agua de acuerdo con el ICAM_{PPF}

La aplicación del ICAM_{PPF} mostró que en diciembre de 2016, la calidad del agua superficial del 55% de las estaciones marinas y estuarinas evaluadas fue adecuada y el 45% aceptable (Figura 11.10a). La calidad aceptable se debió a las altas concentraciones de coliformes termotolerantes, las cuales se vieron influenciadas por mayores aportes de los ríos en este mes, debido al aumento de las precipitaciones. De acuerdo con las opciones de medida se recomienda continuar con el monitoreo y evaluación de las características fisicoquímicas semestralmente. En abril de 2017, la calidad de las aguas mejoró, el 55% de las estaciones tuvieron una calidad óptima, el 27% adecuada, 9% aceptable y 9% inadecuada (Figura 11.10b). Estas dos últimas condiciones de calidad de agua responden a la contaminación microbiológica y alta concentración de nitratos, que en gran parte ingresan al ambiente marino por las descargas fluviales, menguadas por la disminución en la precipitación.

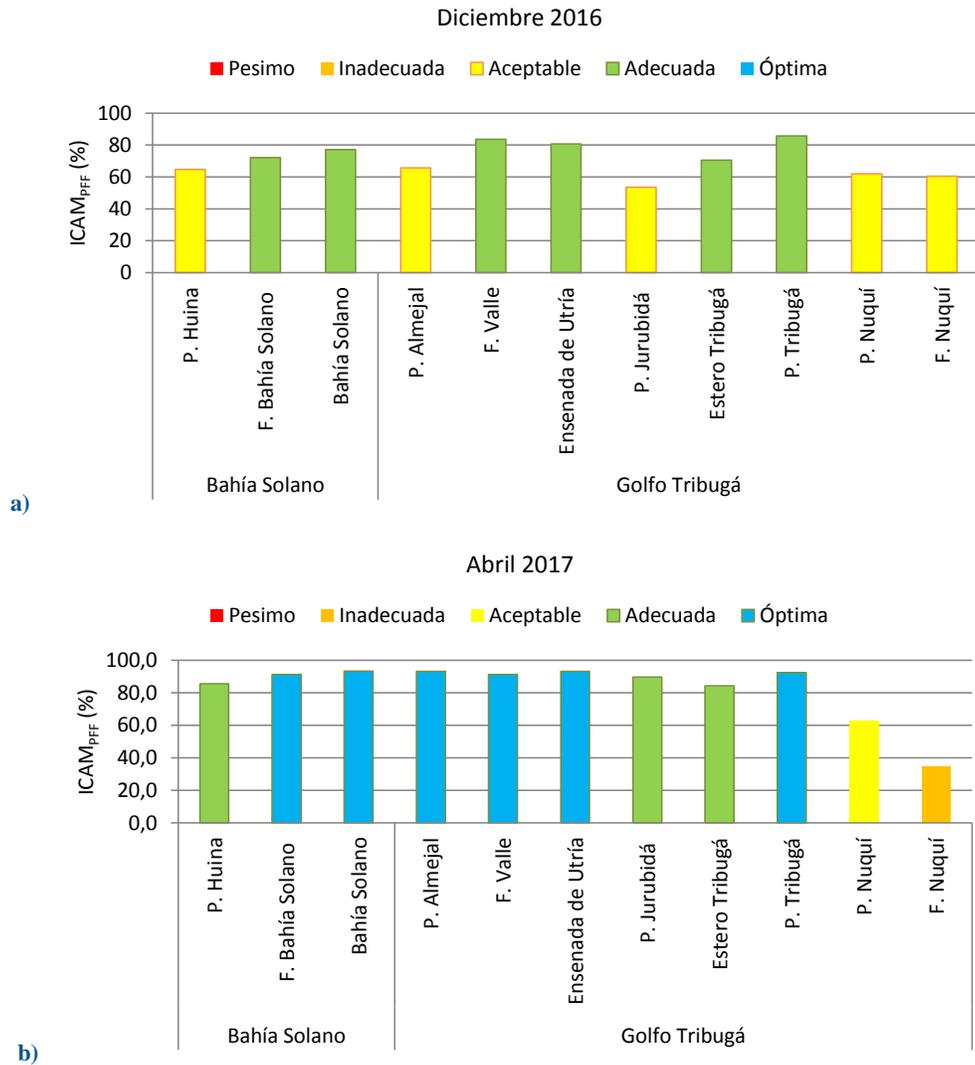


Figura 11.10. Calidad de las aguas en las estaciones marinas y estuarinas de la REDCAM en el departamento de Chocó en el muestreo de diciembre de 2016 (a) y abril de 2017 (b), evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

Las aguas marinas y costeras en las estaciones REDCAM del departamento, entre los años 2013 y 2015 han estado en mayor proporción en condiciones de calidad adecuada para la preservación de flora y fauna (Tabla 11.5). En algunas estaciones de la zona del golfo de Tribugá en el 2013 y 2014, y en estaciones de bahía Solano en 2014, se han presentado condiciones inadecuadas en áreas cercanas a las poblaciones de Nuquí y en Bahía Solano, lo cual se atribuye a concentraciones altas de coliformes termotolerantes, producto de vertimientos de aguas residuales. En el 2015, se evidenció una mejoría en la calidad del agua marina del departamento, asociado a una disminución en aportes de aguas fluviales, por la ocurrencia de uno de los mas severos fenómeno de El Niño (IDEAM, 2018)

Tabla 11.5. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PPF} en las zonas del departamento del Chocó en el periodo desde el 2013 al 2015.

Año	Zona	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2013	Bahía Solano			100%	
	Golfo Tribugá	15%		85%	
2014	Bahía Solano	20%		80%	
	Golfo Tribugá	20%	20%	60%	
2015	Bahía Solano			67%	33%
	Golfo Tribugá			100%	

11.3 CALIDAD DE SEDIMENTOS

En la estación Bahía Solano, el contenido de materia orgánica (MO) en diciembre de 2016 fue de 1,59 mg/g y en abril de 2017 de 25,1 mg/g. Esta variación del contenido de MO posiblemente se deba a la resuspensión por el oleaje y las mareas, transporte por las corrientes, por la descomposición o consumo de organismos bentónicos y aportes de algunas quebradas que desembocan en la zona. En muestreos de años anteriores el contenido de MO ha llegado a 0,7 mg/g en el muestreo de octubre de 2013, 6,8 mg/g en el muestreo de octubre de 2015.

La concentración de hidrocarburos del petróleo equivalente de criseno en diciembre de 2016 (0,12 µg/g), indica que no hay contaminación, tomando como referencia el valor propuestos por (15 µg/g) [Massoud et al. \(1998\)](#). El seguimiento de este contaminante se viene realizando desde el año 2013, y se han registrado concentraciones bajas, 1,02 µg/g en octubre de 2013, 2,24 µg/g en octubre de 2015 y 5 µg/g en mayo de 2016, indicando que estos sedimentos no han estado contaminados por hidrocarburos.

Los 41 plaguicidas medidos en diciembre de 2016 en los sedimentos de esta estación estuvieron por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica utilizada en el LABCAM del INVEMAR, y por debajo de las referencias de efectos probables descritos en [Buchman \(2008\)](#).

Los metales pesados totales (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, Fe y Hg) medidos se presentan en la Tabla 11.6. Las concentraciones de Cr en los dos muestreos realizados superaron las referencias de efecto umbral –TEL y de efectos probables PEL descritos en [Buchman \(2008\)](#). En muestreos de años anteriores también se ha registrado concentraciones de Cr que han llegado a los 304 µg/g en octubre de 2015 y 221 µg/g en mayo de 2015. La fuente de este contaminante necesita ser investigada con mas detalle, lo cual implica la determinación de los niveles basales para descartar que este sea una concentración natural de la zona, y la revisión del uso de pinturas antioxidantes entre otros que se estén usando las embarcaciones o estructuras del muelle. Adicionalmente es importante que se evalúe la biodisponibilidad del Cr, para reducir la incertidumbre del riesgo ambiental que este metal pueda representar. Otros metales como el Cu y Ni en los muestreos de diciembre de 2016 y abril de 2017 y el Zn en el diciembre de 2017 superaron la referencia de efecto umbral, en el que los efectos adversos ocurren ocasionalmente ([Long et al., 1995](#)).

Tabla 11.6. Metales pesados totales en los sedimentos de la estación Bahía Solano, Chocó, determinados en los muestreos realizados en diciembre de 2016 y abril de 2017. Los valores de referencia para efectos umbral (TEL) y probables (PEL) se tomaron de Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). Sin referencia (-).

Metal	Unidad	Muestreo de dic-2016	Muestreo de abr-2017	Referencia TEL	Referencia PEL
Pb	µg/g	<4	10,7	30,2	112,0
Cd	µg/g	<0,5	<0,5	0,68	4,2
Cr	µg/g	207,2	236	52,3	160,0
Cu	µg/g	67,6	93,9	18,7	108,0
Zn	µg/g	146	105	124	271,0
Ni	µg/g	60,5	105	15,9	42,8
Fe	mg/g	83,3	96,9	-	-
Hg	ng/g	7,30	19,0	130	700,0

11.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ La calidad del agua superficial en la mayoría de las estaciones REDCAM en el Pacífico Chocoano estuvo entre óptima y adecuada para la preservación de flora y fauna acuática, debido a que las condiciones fisicoquímicas y de contaminantes estuvieron dentro de los valores de referencia y criterios de calidad de la legislación nacional. No obstante, se recomienda seguir con el monitoreo de la calidad de las aguas.
- ❖ El agua de los ríos, esteros y en la quebrada Chocolatal presentan contaminación microbiológica. Además, las aguas de las playas Huina, Almejal, Jurubidá y Nuquí no fueron aptas para el uso recreativo, por la alta concentración de coliformes que sobrepasan los criterios de calidad de la legislación nacional para el contacto primario, evidenciando el problema del inadecuado manejo y tratamiento de las aguas residuales de las poblaciones costeras que necesita inversión pública en el saneamiento básico para reducir el impacto de los residuos domésticos, y mantener condiciones microbiológicas adecuadas para el desarrollo de las actividades turísticas.
- ❖ No se observó contaminación del agua superficial por residuos de plaguicidas, ni por hidrocarburos, con excepción de la estación estero Jurubidá en diciembre de 2016, donde la concentración de hidrocarburos superó la referencia descrita en la bibliografía científica. Se recomienda mayor vigilancia y control ambiental del manejo de los residuos de hidrocarburos en los espendios de combustible para prevenir el deterioro de los recursos naturales del Chocó.
- ❖ No se evidenció contaminación por metales Cd, Pb, Cr, Ni, Zn y Fe en el agua superficial de las estaciones de monitoreo en Chocó, ya que las concentraciones registradas estuvieron por debajo de los valores referenciados para efectos crónicos y agudos descritos en guías internacionales.
- ❖ El sedimento de la estación Bahía Solano no está contaminado por hidrocarburos, ni por plaguicidas. Pero sí muestra concentraciones de cromo que representa un riesgo de efectos adversos para la biota, ya que superar la referencia de efectos probables descrito en la bibliografía científica. Se recomienda investigar la posible fuente de este metal y evaluar su biodisponibilidad para reducir la incertidumbre en la evaluación del riesgo ambiental.

VALLE DEL CAUCA

Ramiro Rueda-Bernal



Playa Chuchero, Buenaventura. Foto: Ostin Garcés.

EQUIPO TÉCNICO CVC

Luisa Marina Baena Álvarez – Profesional Especializada, Coordinadora Laboratorio Ambiental
Carolina López Charry – Analista Química, Técnico Operativo
Jairo Calle Velasco – Tecnólogo Químico, Técnico Operativo
Wilson Neiber Grajales Gomez – Analista Químico, Técnico Operativo
Héctor Fabio Hernández Betancourt – Ingeniero Químico, Profesional Especializado
Líber Ernesto Carabalí Peña – Técnico Operativo (campo)
James Larrahondo Posú – Técnico Operativo (campo)
Bibiana Stella Landazábal Marulanda - Técnico Operativo (campo)

12. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA

La zona costera del Valle del Cauca comprende únicamente el municipio de Buenaventura ([Gobernación del Valle, 2010](#)) y presenta unas condiciones climatológicas que se encuentran determinadas por la zona de convergencia intertropical (ZCIT), donde predominan las precipitaciones constantes a lo largo de todo el año, con lluvias más intensas durante el periodo de abril a junio y de septiembre a noviembre ([IDEAM, 2017b](#)). Los ecosistemas más representativos del territorio marino-costero del departamento son los manglares, los arrecifes coralinos, y las playas de arena. Los arrecifes coralinos se encuentran en el Santuario de Flora y Fauna de la Isla de Malpelo a 500 km de Buenaventura ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#)). Los manglares bordean las bahías, estuarios y deltas de ríos y las playas más reconocidas del departamento se encuentran en el extremo exterior de Bahía Málaga ([Vivas-Aguas et al., 2014](#)) Magüipi, Pianguita y la Bocana cerca de Buenaventura.

El principal pilar de la economía del departamento es la actividad portuaria, la cual se encuentra constituida por 12 muelles en donde se mueven más de 8,6 millones de toneladas de carga y que junto a actividades mineras, agropecuarias y turísticas, constituye la principal fuente de contaminación y deterioro de los ecosistemas marino costeros ([Vivas-Aguas et al., 2014](#); [Gómez-Cubillos et al., 2015](#)).

Con el fin de obtener información que facilite la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, para el manejo integral del medio ambiente marino, la REDCAM realiza desde el año 2001 una evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento, teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, microbiológicas y de contaminantes orgánicos e inorgánicos. En el presente informe se muestran los resultados de los muestreos de calidad de aguas realizados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) durante el período de lluvias comprendido entre los meses de julio-septiembre de 2016, cuando la precipitación promedio fue de 600 mm ([IDEAM, 2017a](#)), debido a inconvenientes de orden público, en el primer semestre del año 2017 no fue posible realizar el muestreo.

12.1 ZONAS DE MONITOREO

La REDCAM cuenta con 47 estaciones en el Valle del Cauca distribuidas en cuatro zonas: Bahía Málaga, Buenaventura afuera, Buenaventura urbana y Costa sur Buenaventura (Figura 12.1). **Bahía Málaga**, cuenta con 14 estaciones y es la zona de mayor interés turístico, principalmente por la presencia de playas de arena y por hacer parte de la ruta de migración estacional de ballenas Yubartas. Adicionalmente, se encuentra protegida bajo la figura de Parque Nacional Natural Uramba bahía Málaga y está articulada con el Distrito de Manejo Integrado (DMI) y el Parque Regional Natural (PNR) de la Sierpe. **Buenaventura Urbana**, alberga 13 estaciones de muestreo, constituye el interior de la bahía del municipio y es donde se desarrollan la mayor parte de las actividades comerciales y portuarias ([Vivas-Aguas et al., 2014](#)). La zona **Buenaventura Afuera**, corresponde a la entrada de la región de la Bocana y alberga 15 estaciones. En la orilla norte se encuentran las playas Pianguita y La Bocana y en la orilla sur están la Isla Soldado, los esteros Brazo Largo y Machetagedó, donde desembocan los ríos

Potedó y Anchicayá ([Vivas-Aguas et al., 2015b](#)). Finalmente está la zona **Costa Sur**, con 5 estaciones localizadas en el río Raposo.

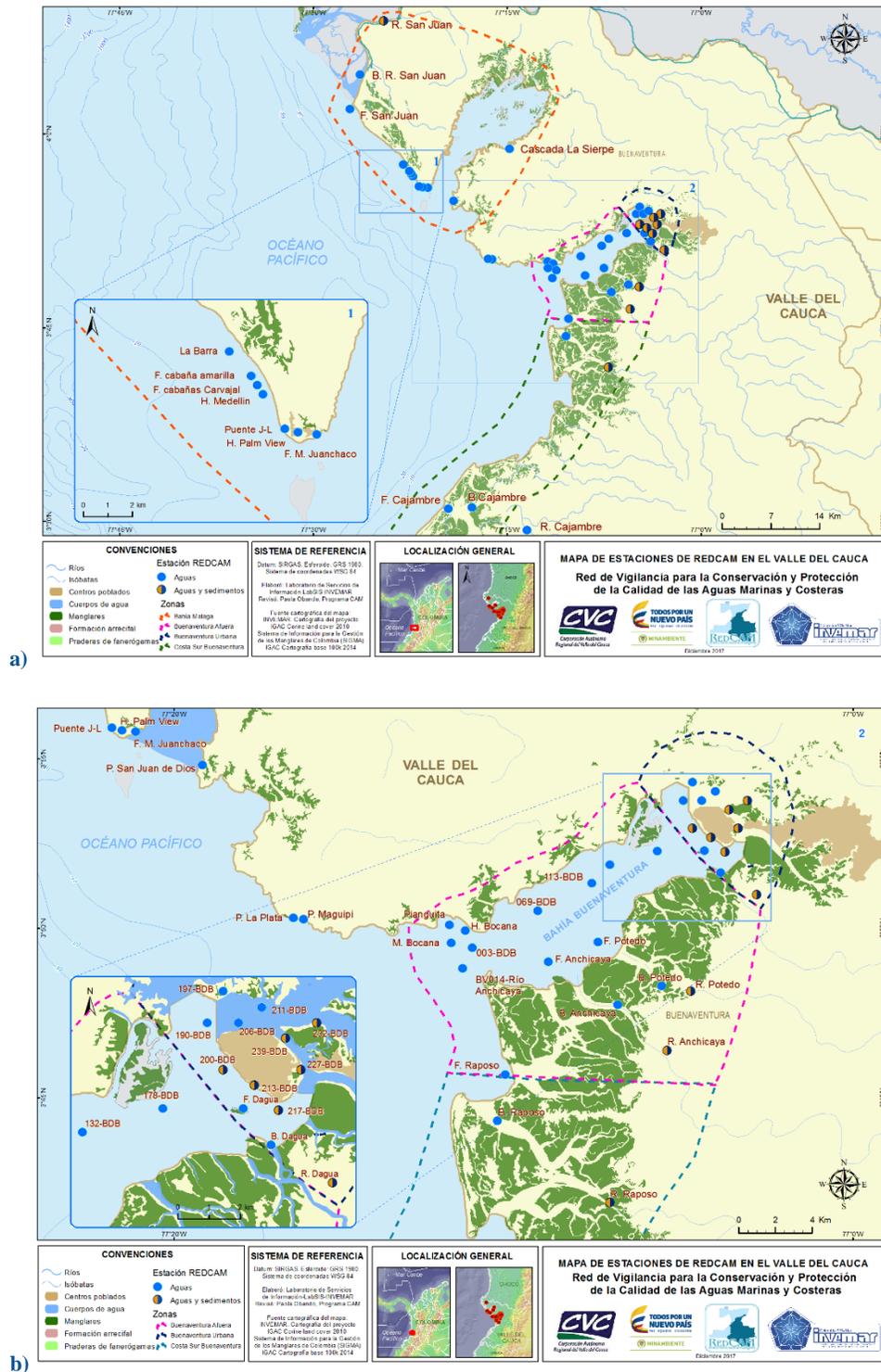


Figura 12.1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos azules y marrón) en el departamento de Valle del Cauca. a) Bahía Málaga y b) Buenaventura Urbana, Costa Sur y Buenaventura Afuera.

12.2 CALIDAD DE AGUAS

La temperatura del agua superficial durante el monitoreo realizado en el periodo julio-septiembre de 2016 osciló entre 24,0 y 29,8 °C (Tabla 12.1). Las menores temperaturas se presentaron en la zona de la Costa Sur, por la influencia de las aguas provenientes del río Raposo, mientras que las aguas más cálidas se encontraron en la zona de la Bahía Urbana.

Tabla 12.1. Temperatura del agua superficial registrada de las estaciones REDCAM del departamento de Valle del Cauca, en julio-septiembre de 2016.

Zona	Estación	Hora del Muestreo	Temperatura (°C)
Bahía Málaga	P. San Juan de Dios	9:00	28,7
	P. Magüipi	12:35	29,1
	P. la Plata	10:35	28,6
	Cascada la Sierpe	11:10	29
	F. M. Juanchaco	07:00	28,2
	H. Palm View	08:25	28,2
	Puente J-L	08:10	28,1
	H. Medellín	07:40	28,2
	F. cabañas Carvajal	07:30	28,1
	F. cabaña amarilla	09:45	28
	La Barra	09:30	29
	R. San Juan	08:13	26,8
	B. R. San Juan	07:50	29,7
	F. San Juan	07:39	29,1
B. Afuera	178-BDB	09:52	28,6
	R. Anchicayá	10:50	24,4
	B. Anchicayá	11:16	27,0
	F. Anchicayá	11:05	28,7
	R. Potedó	12:11	26,3
	B. Potedó	11:47	28,0
	F. Potedó	12:38	28,7
	F. Raposo	10:01	28,7
	M. Bocana	13:00	29,1
	H. Bocana	12:50	28,6
	Pianguita	12:45	28,9
	003-BDB	10:00	28,8
	069-BDB	10:22	28,9
	113-BDB	10:30	29
132-BDB	10:40	28,7	
B. Urbana	190-BDB	09:28	28,8
	197-BDB	10:33	28,7
	200-BDB	10:55	29
	206-BDB	10:25	29,1

Zona	Estación	Hora del Muestreo	Temperatura (°C)
	211-BDB	10:15	29,1
	213-BDB	12:14	28,9
	217-BDB	12:29	28,7
	227-BDB	09:36	29,4
	232-BDB	10:02	29,6
	239-BDB	09:51	29,6
	R. Dagua	13:15	27,3
	B. Dagua	13:02	29,8
	F. Dagua	12:50	29,2
	Costa Sur	R. Raposo	10:38
B. Raposo		10:27	27,4
F. Cajambre		09:40	25,7
B. Cajambre		10:00	24,5
R. Cajambre		10:30	24

En la Figura 12.2 se muestran los registros de pH medidos en las 47 estaciones monitoreadas en el período julio-septiembre de 2016. Los resultados obtenidos muestran la influencia de las aguas continentales más ácidas debido a la alta tasa de respiración en algunos cuerpos fluviales, como el río Potedó (5,57 unidades de pH) y superiores a 8,0, en sistemas estuarinos de alta productividad del departamento. En la zona de Bahía Málaga los valores de pH oscilaron entre 7,8 y 8,0, con excepción del río San Juan, en donde se registró un pH de 6,2. En Buenaventura Urbana, los resultados fueron considerablemente más variantes, principalmente a causa de los aportes del río Dagua, la quebrada San Joaquín y los esteros Las Cruces, Aguacate y Gamboa. Los valores de pH oscilaron entre 7,0 y 8,3. En la zona de Buenaventura Afuera el pH más alcalino se midió en las estaciones ubicadas frente a los ríos Anchicayá y Potedó (8,45 y 8,38 respectivamente), mientras que la estación localizada sobre el río Potedó fue la que presentó una mayor acidez (5,57). En el caso de la zona Costa Sur, el pH fluctuó entre 6,78, en el río Raposo y 7,69 en el río Cajambre. Cabe señalar que todas las estaciones en el departamento se encontraron dentro de los rangos establecidos por la normatividad colombiana para la preservación de flora y fauna tanto en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,0) como marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; [MinSalud, 1984](#)).

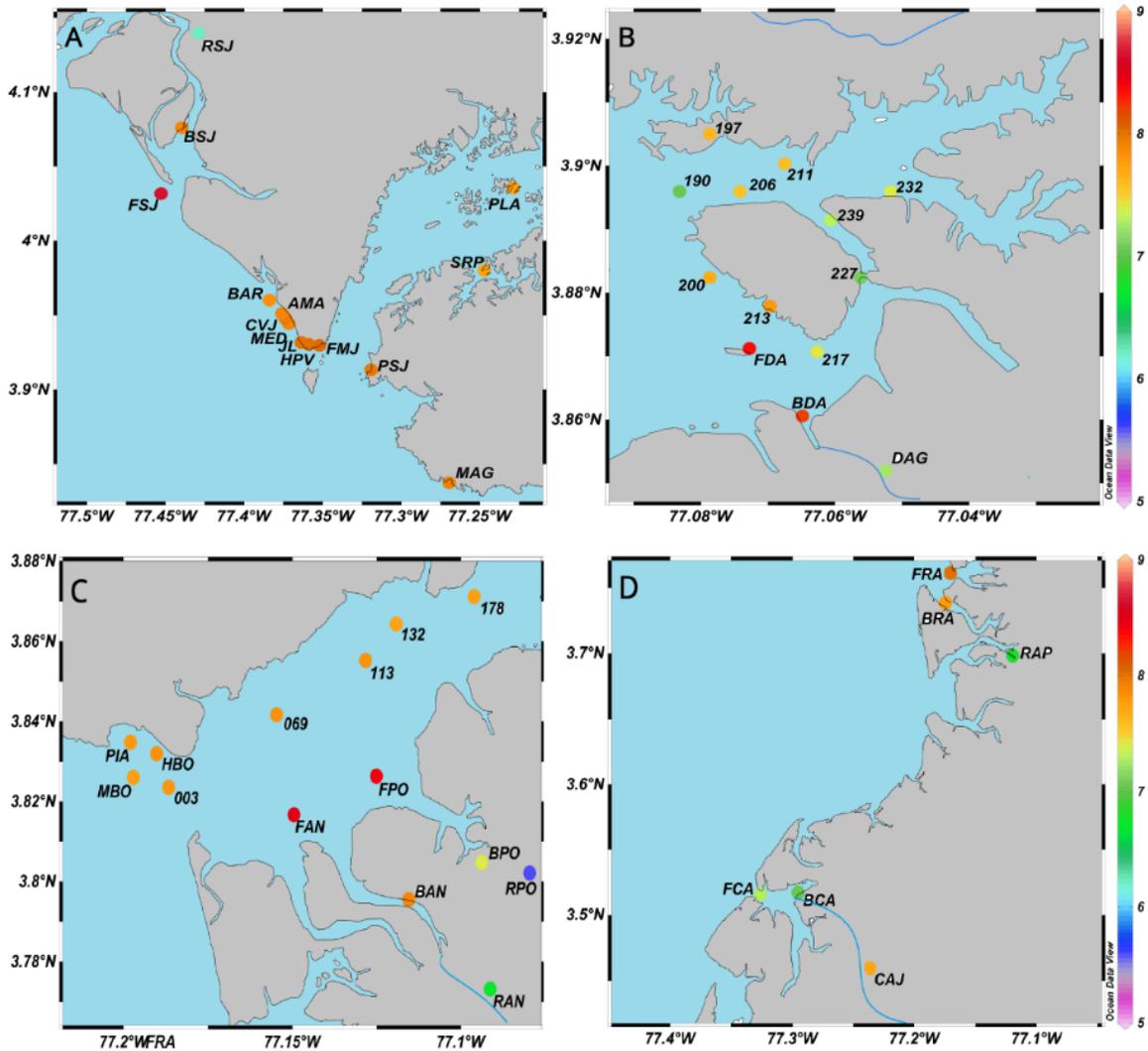


Figura 12.2. pH del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Valle del Cauca, en julio-septiembre de 2016. a) Estaciones ubicadas en zonas Bahía Málaga b) Estaciones ubicadas en zona Buena Ventura Urbana c) Estaciones ubicadas en la zona de Buena Ventura Afuera d) Estaciones ubicadas en la zona de Costa Sur. RSJ: río San Juan, BSJ: bocana río San Juan, FSJ: frente río San Juan, BAR: la Barra, AMA: frente cabaña amarilla, CVJ: frente cabañas Carvajal, MED: hotel Medellín, JL: puente J-L, HPV: hotel Palm View, FMJ: frente muelle Juanchaco, PLA: playa La Plata, 239: 239-BDB, 3: 003-BDB, RAN: río Anchicayá, SRP: cascada la Sierpe, 227: 227-BDB, 69: 069-BDB, FC: frente Cajambre, PSJ: puente San Juan de Dios, FDA: frente río Dagua, 113: 113-BDB, BCA: bocana río Cajambre, MAG: playa Maguipi, 213: 213-BDB, 132: 132-BDB, CAJ: río Cajambre, 197: 197-BDB, 217: 217-BDB, 178: 178-BDB, RAP: río Raposo, 190: 190-BDB, BDA: bocana Dagua, FPO: frente río Potodó, BRA: bocana río Raposo, 200: 200-BDB, DAG: río Dagua, FAN: frente río Anchicayá, FRA: frente río Raposo, 206: 206-BDB, PIA: Pianguita, BAN: bocana Anchicayá, 211: 211-BDB, MBO: muelle Bocana, BPO: bocana río Potodó, 232: 232-BDB, HBO: hotel Bocana, RPO: río Potodó.

La concentración de oxígeno disuelto en aguas superficiales se encontró entre 4,1 mg/L, en la estación 227-BDB, perteneciente a la zona de Buena Ventura Urbana (Figura 12.3) y 7,53 mg/L, en la estación R. Cajambre, ubicada en la zona de Costa Sur, indicando que todas las estaciones presentaron condiciones favorables para la preservación de flora y fauna, debido a que las concentraciones de oxígeno están por encima del valor mínimo establecido en la normatividad

colombiana (>4 mg/L; Decreto 1594 de 1984). Al igual que en años anteriores (INVEMAR, 2017a), los reportes más bajos de las cuatro zonas de muestreo los presentó la zona de Buenaventura Urbana, como consecuencia de altos contenidos de materia orgánica, proveniente de la descarga de diversos tributarios y de la inadecuada disposición de residuos líquidos y sólidos en cuerpos de agua y zonas costeras del municipio que implican mayor consumo de oxígeno para su degradación. Es importante mencionar que en el departamento del Valle del Cauca y otros sectores de la región Pacífico, las concentraciones de oxígeno disuelto son altamente variables a lo largo del día y se encuentran sujetas al cambio en las condiciones de flujo o reflujo (INVEMAR, 2017a).

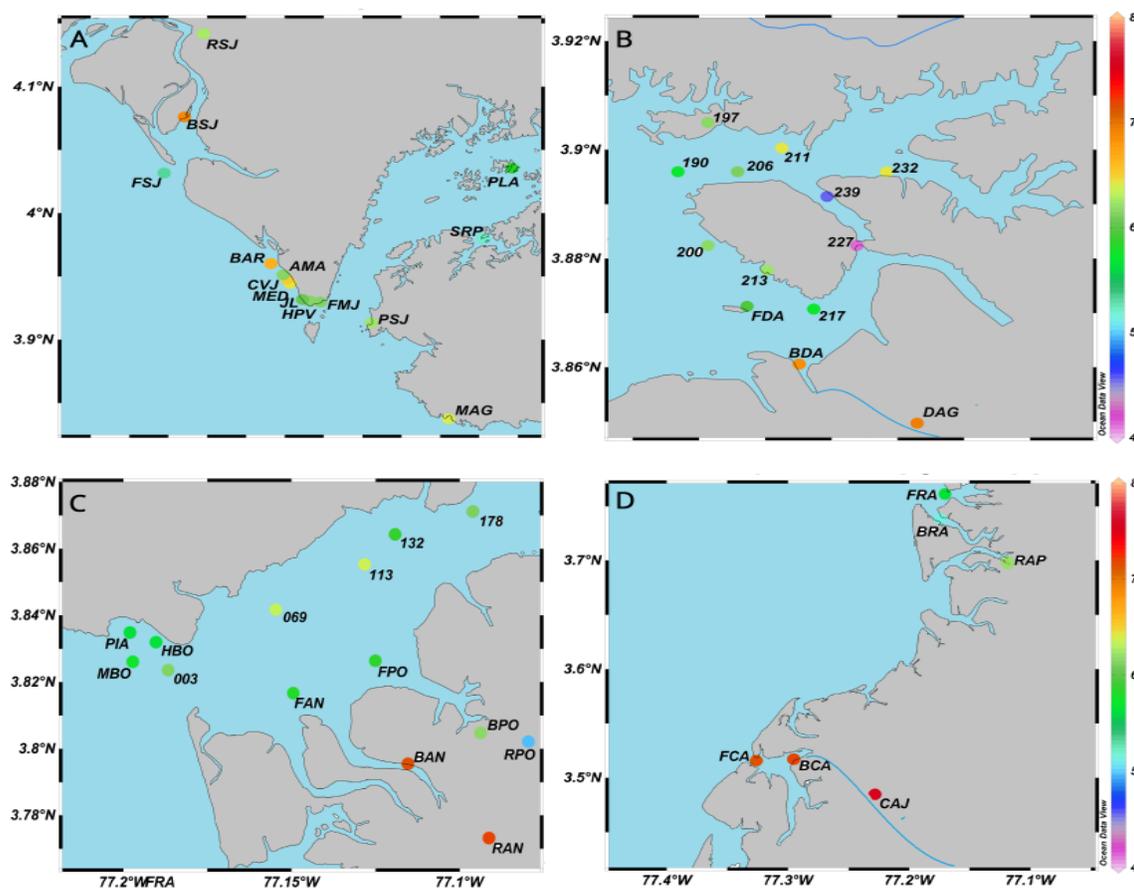


Figura 12.3. Valores de oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Valle del Cauca en el periodo julio-septiembre de 2016. a) Estaciones ubicadas en zonas Bahía Málaga b) Estaciones ubicadas en zona Buenaventura Afuera c) Estaciones ubicadas en la zona de Buenaventura Urbana d) Estaciones ubicadas en la zona de Costa Sur. RSJ: río San Juan, BSJ: bocana río San Juan, FSJ: frente río San Juan, BAR: la Barra, AMA: frente cabaña amarilla, CVJ: frente cabañas Carvajal, MED: hotel Medellín, JL: puente J-L, HPV: hotel Palm View, FMJ: frente muelle Juanchaco, PLA: playa La Plata, 239: 239-BDB, 3: 003-BDB, RAN: río Anchicayá, SRP: cascada la Sierpe, 227: 227-BDB, 69: 069-BDB, FC: frente Cajambre, PSJ: puente San Juan de Dios, FDA: frente río Dagua, 113: 113-BDB, BCA: bocana río Cajambre, MAG: playa Maguipi, 213: 213-BDB, 132: 132-BDB, CAJ: río Cajambre, 197: 197-BDB, 217: 217-BDB, 178: 178-BDB, RAP: río Raposo, 190: 190-BDB, BDA: bocana Dagua, FPO: frente río Potodó, BRA: bocana río Raposo, 200: 200-BDB, DAG: río Dagua, FAN: frente río Anchicayá, FRA: frente río Raposo, 206: 206-BDB, PIA: Pianguita, BAN: bocana Anchicayá, 211: 211-BDB, MBO: muelle Bocana, BPO: bocana río Potodó, 232: 232-BDB, HBO: hotel Bocana, RPO: río Potodó.

Las tendencias históricas de los valores promedio de oxígeno disuelto reportados en las zonas de muestreo del departamento del Valle del Cauca (Figura 12.4), muestran condiciones favorables, ya que los promedios anuales en el departamento han sido superiores a los valores mínimos establecidos como adecuados por el criterio de preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 de 1984 (4 mg O₂/L). Por otra parte, se ha evidenciado que la concentración de oxígeno disuelto en el agua superficial ha variado entre semestres (Figura 12.4) y al contrastar estos resultados con los reportes climatológicos históricos de la región (IDEAM, 2016b) se evidencia que los valores más bajos se han registrado durante las épocas de mayores precipitaciones y durante algunos años en los que se han consolidado eventos de La Niña. Durante el 2003 las concentraciones de oxígeno disuelto en las zonas de Buenaventura Urbana y Costa Sur disminuyeron, alcanzando valores de 1,0 mg/L y 1,9 mg/L, respectivamente; en el 2007 se presentó uno de los eventos La Niña más intensos del siglo XXI (NOAA, 2014), y debido a las crecientes en ríos y caños, provocadas por el exceso de precipitaciones, las concentraciones de oxígeno disuelto en todas las zonas de muestreo disminuyeron de manera considerable; de manera similar, aunque en una menor proporción, durante el evento La Niña 2010-2011 (IGAC et al., 2011), también se observó un descenso de la concentración de oxígeno en las zonas Buenaventura Afuera, Buenaventura Urbana y Costa Sur.

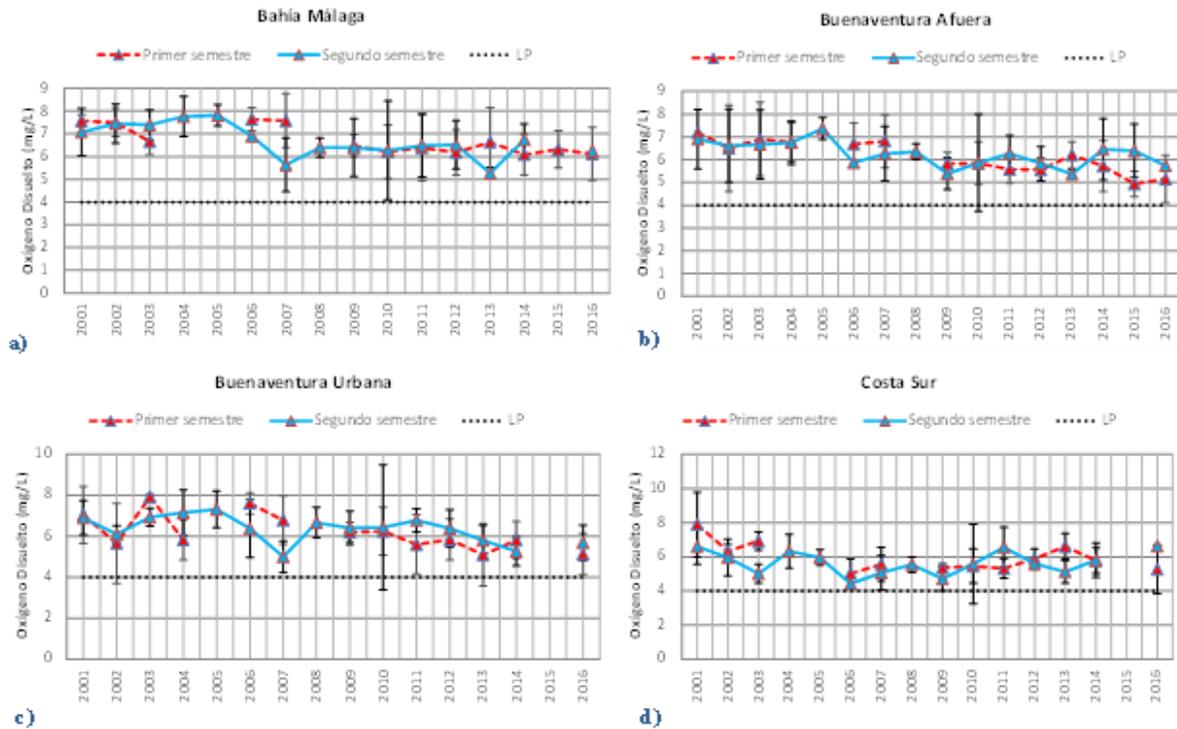


Figura 12.4 Promedios histórico de oxígeno disuelto en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Valle del Cauca en el primer semestre y segundo semestre de los años entre 2001 y 2016. La línea negra punteada en 4,0 mg de O₂/L indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre valores por debajo del límite de cuantificación (<11,6 mg/L) y 67 mg/L, la mayoría considerados como excelente y buena calidad, según los rangos de clasificación propuestos por [CONAGUA \(2015\)](#) (Figura 12.5). Las estaciones con mayores concentraciones de sólidos suspendidos fueron Puente J-L (zona bahía Málaga), probablemente como consecuencia de la dinámica mareal y del redireccionamiento de las corrientes hacia el oeste, causado por el fenómeno de reflujos; el frente del río Anchicayá (zona Buenaventura Afuera), relacionado con los aportes del estero las Cruces y en la zona Buenaventura Urbana, el frente del río Dagua, que se ubica cerca a los esteros Aguacate y Gamboa y que por efectos de la precipitación traen consigo mayores cantidades de sólidos, producto del lavado de suelos ([Ramírez y Viña, 1998](#)). No obstante, cabe resaltar que estas concentraciones no superan los valores establecidos por [CONAGUA \(2015\)](#) para aguas con calidad aceptable. Otra fuente significativa de contaminación por sólidos suspendidos son las escorrentías agrícolas, provenientes de las áreas de cultivo de chontaduro y coco, que en época de lluvias nutren los principales ríos y quebradas de la región ([INVEMAR, 2017d](#)).

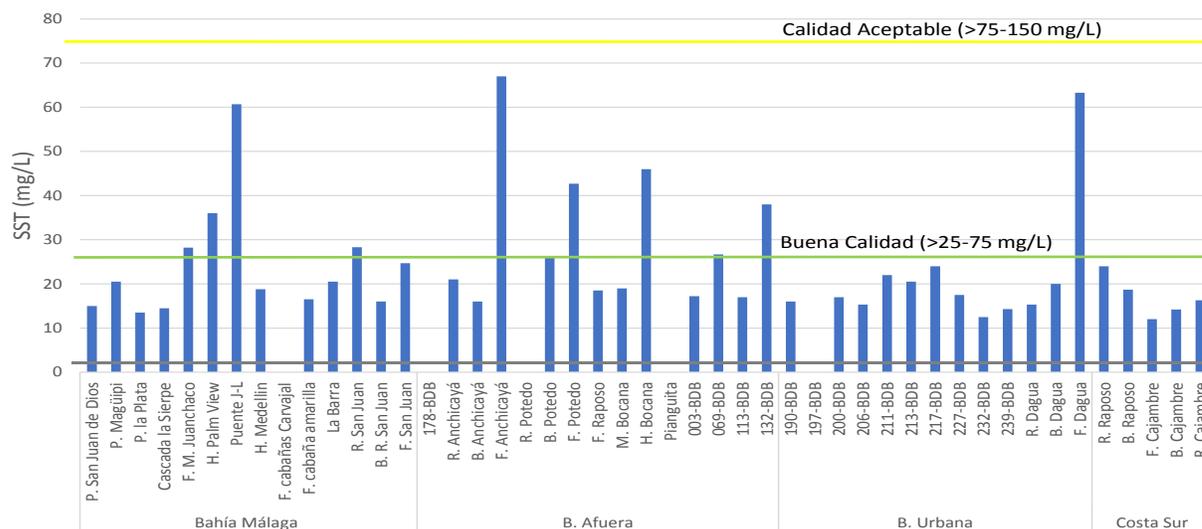


Figura 12.5. Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Valle del Cauca. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por [CONAGUA \(2015\)](#).

Históricamente, las mayores concentraciones de SST se han registrado durante los segundos semestres del año, lo cual está asociado a una mayor tasa de precipitación en este período ([IDEAM, 2017a](#)). En general, las concentraciones de sólidos se han mantenido en condiciones aceptables (Figura 12.6), con una alta variabilidad a lo largo del tiempo en las estaciones asociadas a las descargas de los ríos San Juan, Anchicayá y Dagua, debido a su relación con la variación interanual en los regímenes de precipitación, con excepción del segundo semestre del 2010, cuando los valores reportados sobrepasaron ampliamente el límite de 400 mg/L, correspondiente a aguas fuertemente contaminadas según [CONAGUA, 2015](#), en las zonas Buenaventura Afuera y Buenaventura Urbana. Este caso particular coincidió temporalmente con un evento de La Niña fuerte, en el que el territorio nacional presentó los meses más lluviosos de

los últimos cuarenta años (IDEAM, 2017b), incrementando considerablemente el aporte hídrico de estas afluentes y acelerando la inclusión de los residuos que estas mismas arrastran. Bajo esta misma hipótesis, es posible que el evento La Niña moderado que se presentó en el año 2011 (NOAA, 2014), haya alterado notoriamente las concentraciones reportadas en el segundo semestre del año 2011, pues si bien los niveles no fueron de la misma magnitud que en el 2010, si se presentaron concentraciones de SST superiores a los límites de calidad aceptable propuestos por CONAGUA (2015) en las zonas de Bahía Málaga y Buenaventura Urbana.

Cabe resaltar que las tendencias históricas en las características de las aguas marinas y costeras de la región Pacífico son especialmente cambiantes principalmente debido a que estas se encuentran sujetas, en una mayor proporción, a la dinámica de las mareas, particularmente la Bahía de Buenaventura se caracteriza por una alta variabilidad mareal que puede presentar cambios drásticos y diferentes fenómenos de flujo y reflujo a lo largo del día (Otero, 2005).

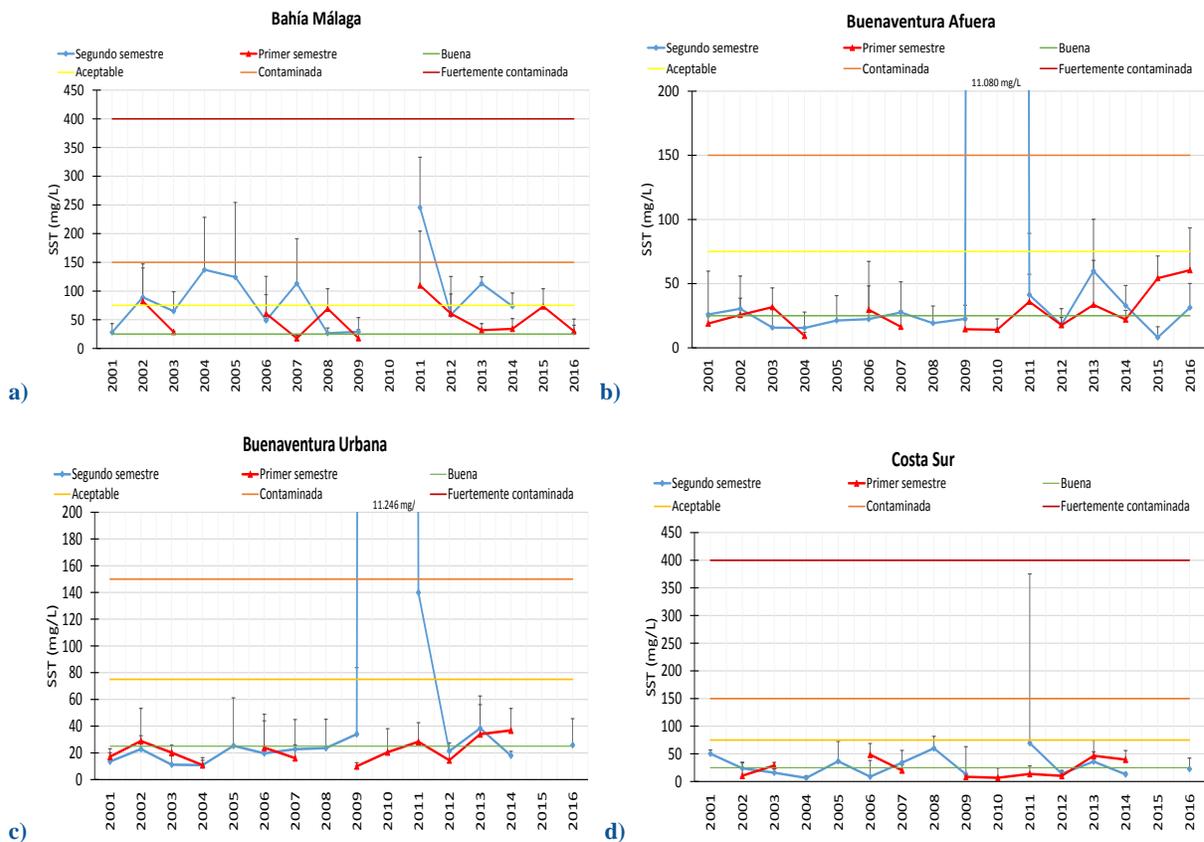


Figura 12.6. Promedios históricos de los Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Valle del Cauca, en el muestreo realizado en julio-septiembre de 2106. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015). La línea amarilla indica el rango de calidad aceptable (>75≤150 mg/L) y la línea verde buena calidad (>25≤75 mg/L).

Los nutrientes inorgánicos disueltos analizados en las estaciones del Valle del Cauca se reportan en la Figura 12.7. El nitrógeno amoniacal ($N-NH_3^+$) presentó valores entre 580 $\mu g N-NH_3^+/L$

(Frente río Cajambre) y $1.110 \mu\text{g N-NH}_3^+/\text{L}$ (Frente río Raposo), niveles que se encuentran dentro del rango histórico reportado en las bases de datos de la REDCAM ([INVEMAR, 2017a](#)) y que se asocian principalmente con los aportes de nutrientes provenientes de la descarga de aguas continentales y de la degradación de la materia orgánica en zonas estuarinas. Las concentraciones de nitritos fueron bajas respecto a otros departamentos y presentaron valores mínimos por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica ($<0,7 \mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$) y máximos de $45,8 \mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$, en la estación frente Río Cajambre, en la zona Costa Sur (Figura 12.7). A excepción de esta última, las estaciones ubicadas en la zona de Buenaventura Urbana fueron las que presentaron los niveles más altos, principalmente debido a la presencia de diferentes tributarios.

Las concentraciones de nitratos ($\text{N-NO}_3^-/\text{L}$) a lo largo de la bahía estuvieron entre menores al límite de cuantificación ($<92,1 \mu\text{g N-NO}_3^-/\text{L}$) y $1.400 \mu\text{g N-NO}_3^-/\text{L}$, en la estación BDB-211 (zona Buenaventura urbana). Si bien los valores reportados en el presente informe se encuentran dentro del rango histórico del departamento, son altos respecto a otros departamentos de la región Pacífico, como Cauca y el Chocó, y reflejan los efectos provocados por la disposición inadecuada de los residuos generados por los cultivos que se ubican en la cuenca baja del río Dagua los vertimientos del municipio de Buenaventura.

A diferencia de los nutrientes nitrogenados reportados previamente, las mediciones de ortofosfatos ($\text{P-PO}_4^{3-}/\text{L}$) presentaron valores bajos. El 94% de las estaciones ubicadas en la zona costera del departamento se encontraron por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica y únicamente en las estaciones desembocadura del río Potedó ($65 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$), ríos Dagua ($613 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$) y Raposo ($122 \mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$) se detectó la presencia de este nutriente. No obstante, es importante recalcar que el río Dagua presentó el valor más alto reportado en la base de datos de la REDCAM para el departamento del Valle del Cauca, lo cual además de verse relacionado con el alto contenido de materia orgánica proveniente de los diferentes cuerpos fluviales indica la influencia de vertimientos y escorrentías agrícolas.

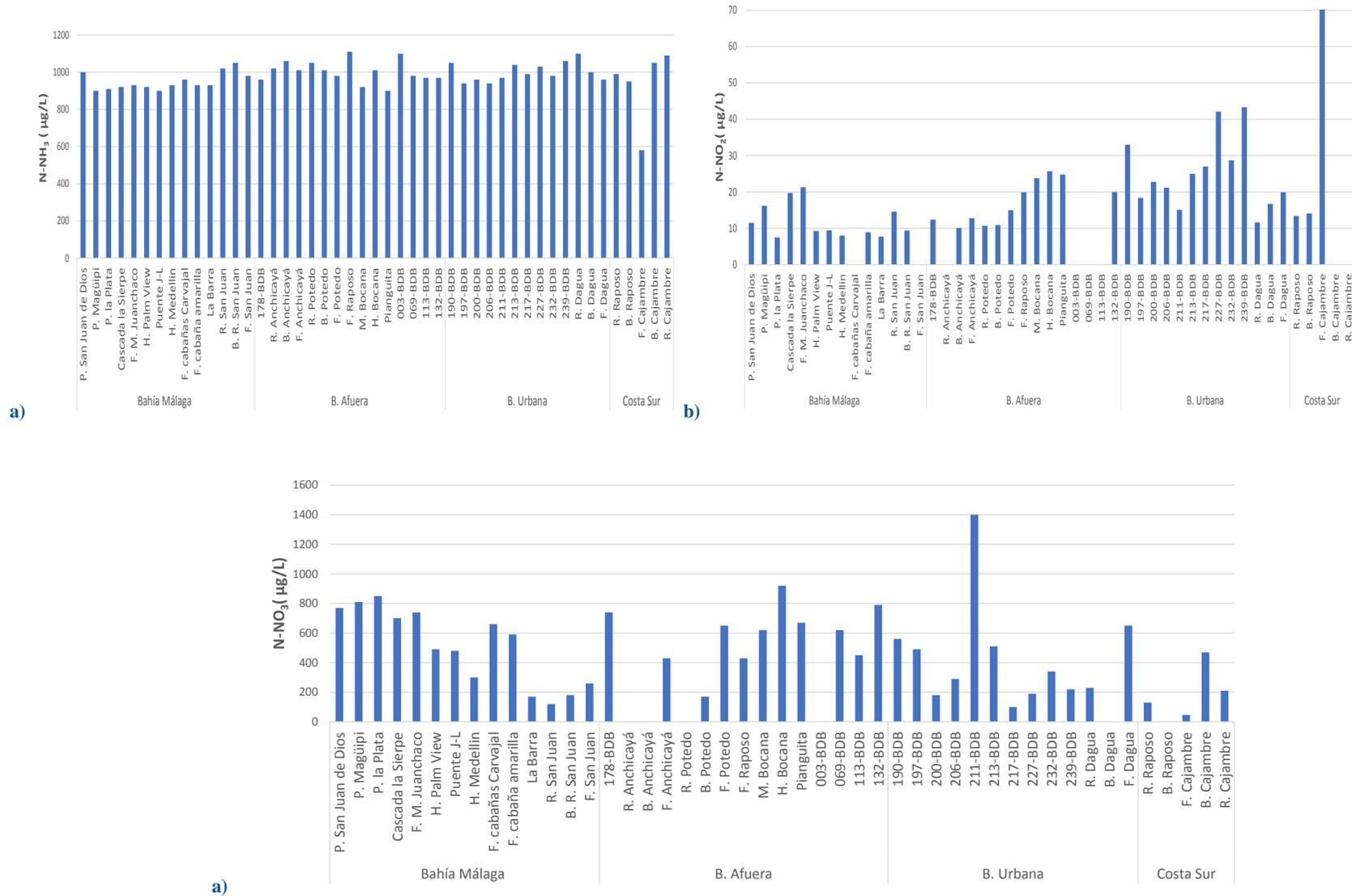


Figura 12.7. Concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos: a) nitrógeno amoniacal (N-NH₃⁺), b) nitritos (N-NO₂⁻), c) nitratos (N-NO₃⁻), en el agua superficial de las estaciones de muestreo REDCAM del departamento de Valle del Cauca, en el muestreo de julio-septiembre de 2016.

La calidad sanitaria de las aguas del departamento, se evaluó con base en las concentraciones de coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE) (Tabla 12.2). La zona de Buenaventura Urbana es la más afectada por los vertimientos de aguas servidas residenciales ya que presentaron las mayores concentraciones de CTT y CTE, superando lo establecido por la normatividad colombiana para recreación por contacto primario e incluso secundario.

Tabla 12.2. Concentraciones de coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Valle del Cauca, medidos en el muestreo de julio-septiembre de 2016. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de [MinSalud \(1984\)](#).

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)			CTE (NMP/100 mL)		
		jul-sep 2016	Rango Histórico	Percentil 90	jul-sep 2016	Rango Histórico	Percentil 90
Bahía Málaga	P. San Juan de Dios	9	-	-	<3,0	-	-
	P. Magüipi	430	3 – 1.500	1.350	230	200 - 230	227
	P. La Plata	430	-	-	150	-	-
	Cascada la Sierpe	230	-	-	230	-	-
	F. M. Juanchaco	230	23 – 66.000	24.000	<3,0	9,1 – 66.000	11.000
	H. Palm View	36	93 – 24.000	8.700	<3,0	1.100	5.875
	Puente J-L	90	93 – 66.000	5.100	<3,0	33 – 3.850	2.800
	H. Medellín	430	58 – 110.000	24.000	230	10 – 24.000	11.000
	F. cabañas Carvajal	230	58 – 110.000	7.575	90	21 – 4.300	2.300
	F. cabaña amarilla	230	23 – 9.300	6.600	230	20 – 4.300	2.400
	La Barra	430	43 – 110.000	6.600	73	6,35 – 66.000	930
	R. San Juan	930	75 – 240.000	66.000	230	75 – 7.500	6.600
	B. R. San Juan	430	430 – 240.000	24.000	90	23 – 24.000	9.300
F. San Juan	2.400	23 – 660.000	24.000	230	0 – 12.330	9.300	
B. Afuera	178-BDB	230	9 – 240.000	66.000	90	9 – 24.000	9.300
	R. Anchicayá	210	150 – 240.000	66.000	36	150 – 21.000	9.640
	B. Anchicayá	73	230 – 110.000	29.000	<3,0	23 – 9.300	4.300
	F. Anchicayá	230	43 – 2.400.000	11.000	90	23 – 240.000	2.400
	R. Potedó	24.000	430 – 240.000	37.000	4300	43 – 24.000	24.000
	B. Potedó	230	157 – 1.320.000	110.000	90	2 – 132.000	9.300
	F. Potedó	9.300	23 – 1.320.000	24.000	2100	23 – 240.000	4.800
	F. Raposo	230	11 – 24.000	13.000	230	0 – 12.330	2.400
	M. Bocana	430	43 – 66.000	36.750	230	21 – 24.000	15.000
	H. Bocana	210	21 – 66.000	24.000	73	15 – 66.000	24.000
	Pianguita	90	23 – 39.577	9.300	<3,0	23 – 9.300	4.300
	003-BDB	230	3,6 – 24.000	21.000	<3,0	3 – 11.000	930
	069-BDB	90	93 – 24.000	21.000	36	20 – 2.400	1.171
	113-BDB	230	930 – 11.000	11.000	230	230 – 2.300	2.300
132-BDB	430	93 – 24.000	11.000	73	40 – 11.000	4.300	
B. Urbana	190-BDB	43.000	43 – 240.000	45.000	23000	240 – 240.000	9.300
	197-BDB	4.300	43 – 240.000	66.000	230	43 – 150.000	9.300
	200-BDB	2.400	240 – 75.000	66.000	230	93 – 2.400.000	698.000
	206-BDB	230	240 – 110.000	66.000	36	240 – 110.000	24.000
	211-BDB	9.300	750 – 28.000	24.000	150	150 – 24.000	11.000
	213-BDB	750	240 – 2.400.000	240.000	36	93 – 1.100.000	240.000
	217-BDB	9.300	1.100 – 1.100.000	376.200	4300	1.100 – 660.000	66.000
	227-BDB	230	705 – 660.000	240.000	230	705 – 110.000	24.000
	232-BDB	430	430 – 240.000	110.000	90	430 – 240.000	66.000
	239-BDB	240.000	1.500 – 2.400.000	660.000	23000	200 – 2.400.000	110.000

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)			CTE (NMP/100 mL)		
		jul-sep 2016	Rango Histórico	Percentil 90	jul-sep 2016	Rango Histórico	Percentil 90
	R. Dagua	1.500	1950 – 280.000	110.000	430	210 – 24.000	15.000
	B. Dagua	430	795 – 240.000	240.000	230	240 – 110.000	24.000
	F. Dagua	210	150 – 240.000	240.000	430	75 – 24.000	24.000
Costa Sur	R. Raposo	230	240 – 66.000	66.000	90	91 – 9.300	7.500
	B. Raposo	750	66 – 66.000	24.000	430	0 – 9.300	6.600
	F. Cajambre	9.300	-	-	230	-	-
	B. Cajambre	9.300	-	-	90	-	-
	R. Cajambre	15.000	-	-	73	-	-
Límite permisible contacto primario		1000			200		
Límite permisible contacto secundario		5000			-		

En Buenaventura Urbana se registraron concentraciones promedio de CTT de 240.000 NMP/100 mL y el 54% de las estaciones exhibieron niveles superiores a los valores establecidos como seguros por la normativa colombiana para el uso recreativo por contacto primario (1.000 NMP/100 mL), lo cual se debe principalmente a la introducción de los residuos de tipo fecal por parte de la población de la ciudad de Buenaventura (Tabla 12.2). Las zonas de Buenaventura Afuera y Costa Sur, presentaron concentraciones promedio de 2.414 NMP/100 mL y 6.916 NMP/100 mL, respectivamente, siendo las estaciones asociadas a tributarios las que presentaron las concentraciones más elevadas, lo cual indica que las aguas marino costeras del departamento por las descargas de los ríos Potedó, Raposo, Cajambre y Anchicayá, en cuyas cuencas habitan poblaciones que descargan sus residuos domésticos a estos cuerpos de agua. En Bahía Málaga, las concentraciones promedio fueron de 318 NMP/100 mL, bastante bajas en comparación a las demás zonas, sin embargo, no se puede afirmar que estas son aguas aptas para el desarrollo de actividades de recreación ya que las concentraciones de CTE sobrepasaron los límites recomendados por la normativa colombiana.

En la zona costera del departamento, los CTE oscilaron entre valores menores al límite de cuantificación de la técnica analítica (<3 NMP/100 mL) y 23.000 NMP/100 mL, en la estación 206 –BDB. La Tabla 12.2 muestra que el 46% de las estaciones monitoreadas en el departamento se encontraron por encima de lo establecido por la normatividad colombiana para el uso del recurso hídrico por contacto primario (200 NMP/100 mL), corroborando que la contaminación microbiológica se está presentando principalmente por las aguas residuales producidas al interior de Buenaventura. Estos resultados coinciden con los reportes históricos de la REDCAM, en los cuales se evidencia que las estaciones de Buenaventura Urbana han presentado concentraciones de coliformes termotolerantes por encima de lo estipulado por la normatividad colombiana (200 NMP/100 mL), especialmente las más cercanas a la zona continental de la ciudad. En la zona de Bahía Málaga, el 49% de las estaciones, entre las que sobresalen algunas playas altamente visitadas como la del hotel Medellín y la playa Maguipi, sobrepasaron los 200 NMP/100 mL, lo cual implica un alto riesgo para los visitantes de contraer enfermedades gastrointestinales y respiratorias (OMS, 2003).

Según los registros históricos de la REDCAM (INVEMAR, 2017a), en Buenaventura Afuera y Bahía Málaga, las concentraciones de CTE han sido variables, encontrándose la misma proporción de mediciones por encima y debajo del Decreto 1594 de 1984 (200 NMP/100 mL).

Los cambios en las condiciones de calidad del agua pueden estar asociadas a la afluencia de turistas, la variabilidad climática interanual y el nivel de marea en la que se han realizado las mediciones. La zona de Costa Sur ha presentado los niveles de CTE más bajos del departamento durante los últimos años, sin embargo, al igual que los reportes del año 2016, estos valores han excedido con frecuencia los límites establecidos como seguros para contacto primario y por ende no deben ser de menor preocupación.

12.2.1 Calidad del agua de acuerdo con el ICAM_{PPF}

El resultado del ICAM_{PPF} para el segundo semestre del 2016 mostró que la calidad del agua superficial del 19% de las estaciones evaluadas en el Valle del Cauca fue adecuada, el 54% aceptable y el 27% inadecuada para la preservación de flora y fauna ([MinSalud, 1984](#)). Estas condiciones responden a las altas concentraciones de nitratos y coliformes provenientes de algunos vertimientos domésticos sin tratamiento y de la descarga de múltiples tributarios ([INVEMAR, 2017d](#)). Como se puede observar en la Figura 12.8, las estaciones ubicadas en la Bahía de Buenaventura y la Costa Sur presentaron los resultados mas desfavorables, así como algunas estaciones en Bahía Málaga, como los son la playa Maguipi o la playa del Hotel Medellín, debido al reflujos que se da en la bahía durante bajamar y que redirecciona las corrientes hacia el oeste incrementando el aporte generado por el estero las Cruces y los ríos Anchicayá y Potodó ([Otero, 2005](#)).

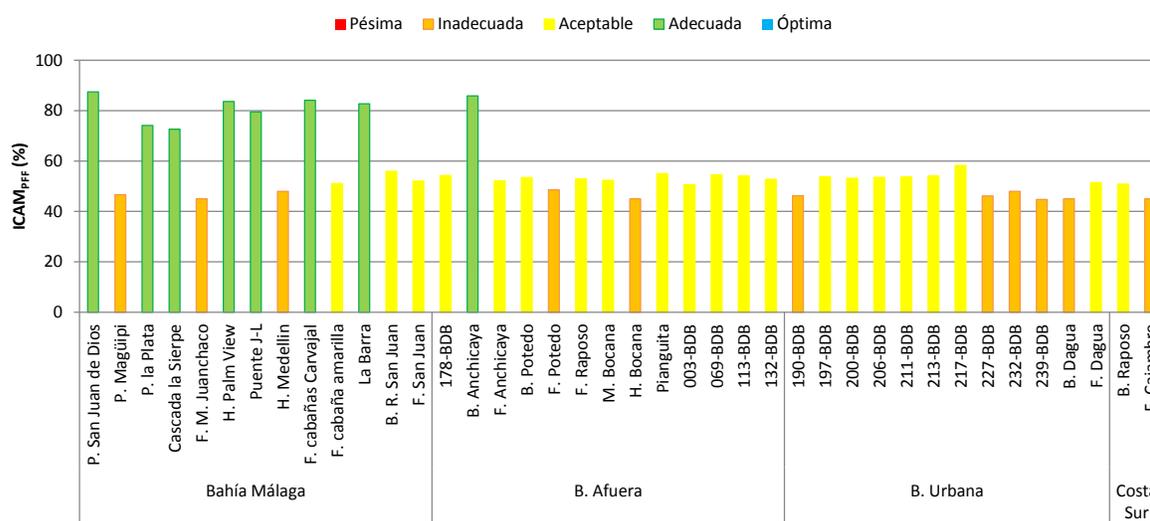


Figura 12.8 Calidad de las aguas marino-costeras en las estaciones REDCAM del departamento del Valle del Cauca en el muestreo de julio-septiembre de 2016, evaluadas con el ICAM_{PPF}.

Como se puede apreciar en la Tabla 12.3, en comparación con los últimos tres años (2013-2016) la calidad de las aguas superficiales marinas y costeras del Valle del Cauca no ha presentado variaciones notorias. No obstante, en la zona de Buenaventura Afuera si es posible evidenciar una disminución en el porcentaje de estaciones en condiciones adecuadas, lo cual muestra la influencia de los tributarios y las fallas en los sistemas de descarte y vertimiento de aguas residuales que se emplean en la ciudad de Buenaventura y sus alrededores.

Tabla 12.3 Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en el las zonas del departamento del Valle del Cauca en el periodo comprendido desde el 2013 al 2016.

Año	Zona	Inadecuada	Aceptable	Adecuada
2013	Bahía Málaga		30%	70%
	Buenaventura Afuera	22%	74%	4%
	Buenaventura Urbana	63%	33%	4%
	Costa Sur		100%	
2014	Bahía Málaga	17%	17%	66%
	Buenaventura Afuera	8%	80%	12%
	Buenaventura Urbana	48%	50%	
	Costa Sur	50%	50%	
2015	Bahía Málaga	12%	75%	13%
	Buenaventura Afuera		18%	82%
2016	Bahía Málaga	23%	23%	54%
	Buenaventura Afuera	16%	77%	7%
	Buenaventura Urbana	41%	59%	
	Costa Sur	34%	66%	

12.3 CALIDAD DE SEDIMENTOS

Con el fin de evaluar la calidad de los sedimentos superficiales de las zonas marinocosteras del departamento, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC realizó mediciones de Pb, Cd, Ni, Cr, Hg, Zn y Cu en las estaciones de los ríos Potedó, Dagua, Anchicayá, San Juan y Raposo. Así mismo, se analizaron muestras de sedimento en las estaciones BDB-200, BDB-213, BDB-217, BDB-227, BDB-232 y BDB-239 ubicadas en la zona de Buenaventura Urbana.

Las concentraciones de los metales pesados evaluados se muestran en la Tabla 12.4. Los niveles de Cd y Pb fueron bajos y en todas las estaciones se hallaron por debajo de los límites de cuantificación de las técnicas analíticas. En cuanto al Ni, el 100% de las estaciones exhibió concentraciones superiores a los niveles de referencia para efectos probables (PEL) descritos en [Buchman \(2008\)](#), siendo la zona de Buenaventura Urbana la que indicó un mayor grado de contaminación por este metal. De igual forma, los ríos Raposo, Anchicayá, San Juan y Dagua y las estaciones BDB-217, BDB-227 y BDB-239 exhibieron concentraciones de Cr que excedieron la referencia para efectos probables ([Buchman, 2008](#)). Adicionalmente, en la zona de Buenaventura Urbana se reportaron niveles de Hg y Cu que sobrepasaron los niveles de referencia para efectos probables descritos por [Buchman, 2008](#). Sumado a los aportes de tributarios y de fuentes terrestres asociadas a los desechos domésticos de la población del departamento, dos de las importantes fuentes de contaminación por metales pesados en el Valle del Cauca son el tráfico de grandes embarcaciones de combustión fósil y la explotación minera, de oro y carbón principalmente, que se desarrolla en la cuarta parte del territorio departamental ([El País, 2014](#); [ANM, 2016](#)). Es importante tener en cuenta estos resultados ya que como ha sido demostrado en estudios previos, la hidrodinámica de la zona costera de Buenaventura favorece la retención de contaminantes al interior de la bahía perjudicando la biota acuática y

poniendo en riesgo la salud de las comunidades que explotan estos ecosistemas ([DIMAR-CCCP, 2012](#)).

Tabla 12.4 Concentraciones de metales pesados totales (en peso seco) medidos en sedimentos superficiales del departamento del Valle del Cauca en julio-septiembre de 2016. Valores con el símbolo (<) indica el límite de cuantificación del método analítico utilizado. Las referencias de efectos probables (PEL) para sedimentos marinos y de agua dulce fueron tomados de la NOAA ([Buchman, 2008](#)). Las filas sombreadas corresponden a aguas dulces

Zona	Estación	julio-septiembre de 2016						
		Pb	Cd	Ni	Cr	Hg	Zn	Cu
		µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
Bahía Málaga	R. San Juan	<11,1	<2,00	45,1	186	0,453	90,2	56,5
Buenaventura Afuera	R. Anchicayá	<11,1	<2,00	52,4	222	0,0935	92,3	63,1
	R. Potedó	<11,1	<2,00	56,5	70,3	0,339	88	80,9
Buenaventura Urbana	R. Dagua	<11,1	<2,00	87,2	161	0,19	94,4	112
	BDB-200	<11,1	<2,00	56,9	156	0,317	143	81,6
	BDB-213	<11,1	<2,00	69,1	120	0,68	157	120
	BDB-217	<11,1	<2,00	68,4	209	1,721	169	129
	BDB-227	<11,1	<2,00	69,1	222	0,777	152	125
	BDB-239	<11,1	<2,00	43,8	258	0,819	159	144
	BDB-232	<11,1	<2,00	43,8	159	0,864	107	87,4
Costa Sur	R. Raposo	<11,1	<2,00	48,4	165	0,269	92,4	56,5
Referencia PEL* sedimentos marinos		112	4,2	42,8	160	0,7	271	108
Referencia PEL* sedimentos de agua dulce		91,3	3,53	36	90	0,48	315	197

12.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ En general la calidad de las aguas marino costeras en el departamento del Valle del Cauca fue aceptable. Sin embargo, debido a la alta presencia de nitratos y de microorganismos de origen fecal, producto del mal manejo de las aguas servidas en el distrito de Buenaventura que descarga sus aguas directamente al mar y a los afluentes que desembocan en la bahía, estos valores no alcanzaron la categoría óptima y tan solo el 20% de las estaciones evaluadas exhibieron condiciones adecuadas. Dadas las condiciones persistentes de esta situación y los efectos que puede tener sobre la biodiversidad y demás servicios ecosistémicos marino costeros, es inaplazable la inversión en infraestructura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales en Buenaventura.
- ❖ Los altos contenidos de Cr, Hg, Cu y Ni hallados en los sedimentos del departamento reflejan el alto impacto de las actividades portuarias y mineras sobre los ecosistemas marino costeros y deben ser tenidos en cuenta para generar acciones y normativas que regulen el aporte directo o indirecto de estos contaminantes por parte de quienes desarrollan dichas actividades comerciales.
- ❖ Finalmente, teniendo en cuenta el alto tráfico de embarcaciones que se da en el puerto de Buenaventura, se recomienda como medida preventiva realizar la cuantificación periódica de hidrocarburos del petróleo en aguas y sedimentos de las zonas marino costeras del departamento.

CAUCA

Mónica Rocío Bayona-Arenas



Río Bubuey, Cauca. Foto: Max Martínez.

EQUIPO TÉCNICO CRC

Jaime Mauricio Vidal Llantén – Subdirección Defensa del Patrimonio L.A.
Luz Marina Prieto Bayer - Subdirección de Gestión Ambiental
Julio Cesar Rodríguez Peláez - Subdirección de Gestión Ambiental

13. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL CAUCA

En la franja marino costera continental del departamento Cauca se encuentran ecosistemas marinos y costeros de gran importancia para el desarrollo económico y cultural de las poblaciones que habitan en sus alrededores, como los manglares que se extienden de forma continua entre los esteros conformando el borde litoral del departamento, los estuarios generados por el encuentro de las descargas de tributarios como los ríos Timbiquí, Saija, Guapi, Guajui, entre otros y los planos interamareales de lodo ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#); [IDEAM et al., 2007](#)). Adicionalmente, en la Isla Gorgona y Gorgonilla se encuentran los arrecifes de mayor importancia en el Pacífico colombiano (Glynn *et al.*, 1982, En: [Giraldo et al., 2008](#)), por lo cual esta área se declaró protegida bajo la figura de Parque Nacional Gorgona en 1980 ([Giraldo et al., 2008](#)).

Los ecosistemas marinos en el Cauca se encuentran sometidos a múltiples fuentes de contaminación, debido a la escasa cobertura de alcantarillado y de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales domésticas de los tres municipios costeros, Guapi López de Micay y Timbiquí ([Vivas-Aguas et al., 2010](#)); además de las actividades como la agricultura, minería, transporte de combustibles y pesca, las cuales generan residuos que son aportados a los principales ríos que decargan sus aguas en el litoral caucano: Micay, Timbiquí, Guapi, Saija y Naya ([Vivas-Aguas et al., 2010](#)). Con el fin de obtener información que facilite la gestión ambiental, la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) de manera conjunta con el INVEMAR, vienen realizando el monitoreo de calidad de las aguas marinas del Departamento, en el marco de la REDCAM, la cual viene operando desde el año 2001. El presente informe contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras en base a los muestreos realizados en el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017.

13.1 ZONAS DE MONITOREO

En el departamento del Cauca, la REDCAM cuenta con 17 estaciones de monitoreo para evaluar la calidad de las aguas y 12 estaciones para evaluar la calidad del sedimento. Las estaciones se encuentran distribuidas geográficamente en tres zonas: López-Timbiquí, Guapi e Isla Gorgona (Figura 13.1).

La zona de **López-Timbiquí** se extiende desde la frontera con el Valle del Cauca y comprende los municipios López de Micay y Timbiquí, además de la población de Puerto Saija. En esta zona se ubican la mayoría de comunidades indígenas y afrocolombianas, se realizan actividades de extracción de moluscos, como piangüa y de crustáceos; además se desarrolla una alta actividad minera, principalmente de oro y platino en la cuenca alta del río Tinbiquí ([INVEMAR-CRC-CORPONARIÑO, 2006](#)). La zona tiene ocho estaciones de muestreo para aguas superficiales, y en la bocana del río Timbiquí se toman muestras de sedimentos para medir contaminantes. En esta zona se adicionaron cinco estaciones distribuidas en la cuenca baja del río Timbiquí (Río Arriba, Desembocadura, Frente Bocana, Frente Norte Bocana y Frente Sur Bocana) y seis estaciones en la cuenca baja del río Saija (río Arriba, Desembocadura, Bocana, Frente Bocana, Frente Norte Bocana y Frente Sur Bocana) con el fin de evaluar las concentraciones de mercurio (Hg) y definir si existen o no impactos por la actividad minera, dándole continuidad al monitoreo iniciado en el año 2014.

La zona de **Guapi**, recibe las descargas de los ríos Guajui y Guapi y se ubica el municipio de Guapi que tiene el mayor número poblacional ([DANE, 2005](#)). En esta zona se cuenta con cuatro estaciones de muestreo de agua superficial.

La zona **isla Gorgona**, cuenta con cinco estaciones ubicadas en el costado oriental de Gorgona y Gorgonilla que corresponden a aguas netamente marinas. Dada la categoría de Parque Nacional Natural Gorgona, esta zona está destinada para fines de conservación de la flora y fauna y con fines turísticos (Figura 13.1).

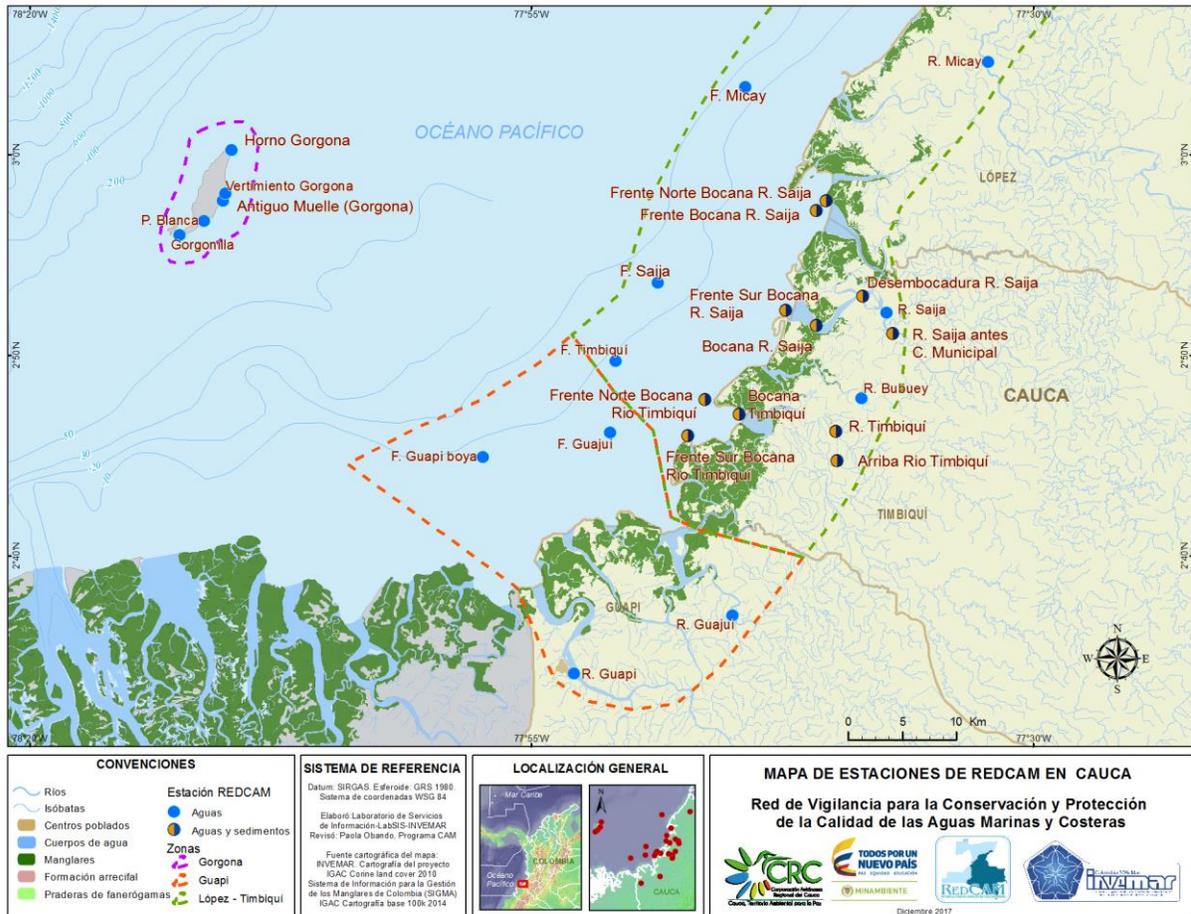


Figura 13.1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (aguas: puntos azules; aguas y sedimentos: puntos azul y naranja) en el departamento de Cauca.

Los muestreos se realizaron entre el 25 y 27 de octubre de 2016 (en adelante, octubre de 2016) y del 16 al 18 de mayo de 2017 (en adelante, mayo de 2017) (Figura 13.2). En octubre, la precipitación acumulada en la zona marino costera del Cauca se encontró entre los valores de 400 – 600 mm y en mayo de 2017 entre 400 – 600 en los municipios de López de Micay y Timbiquí y entre 300 – 400 mm en Guapi ([IDEAM, 2017e](#)).

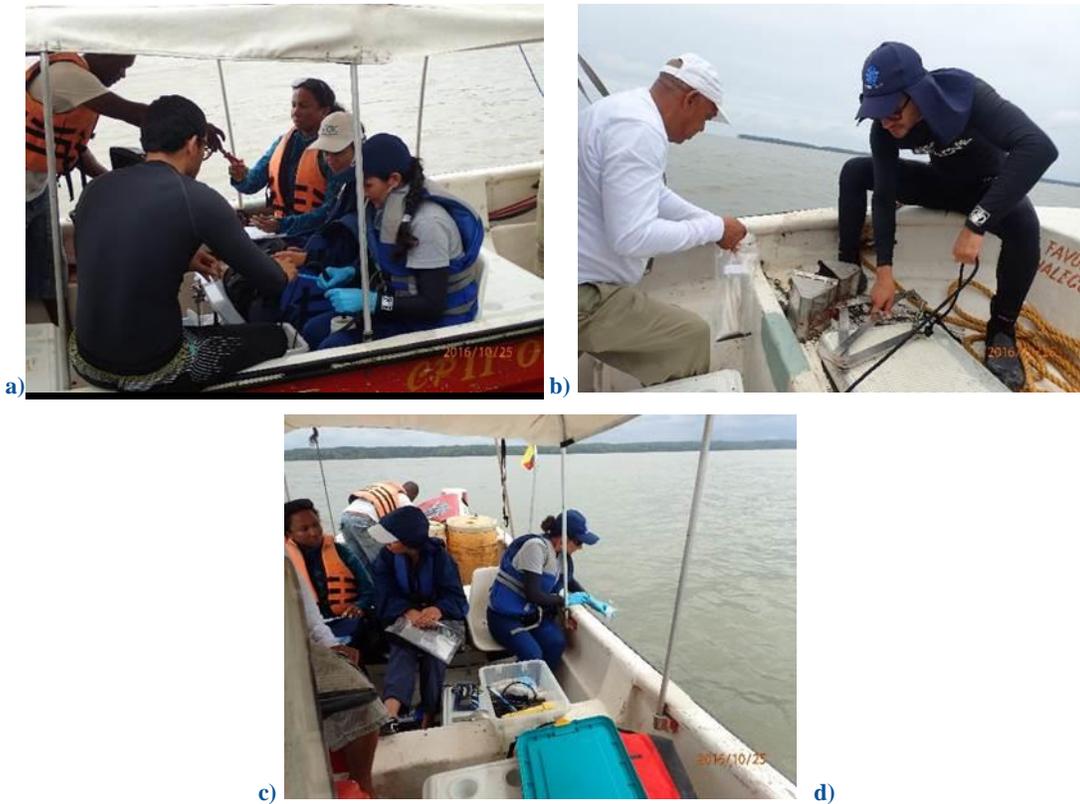


Figura 13.2. Salida de campo REDCAM. a) Medición de parámetros *in situ*, b) recolección de muestras de sedimentos y c) de agua. Fotos: INVEMAR.

13.2 CALIDAD DE AGUAS

La temperatura del agua superficial en las estaciones de muestreo osciló entre 24,0 y 28,9°C en octubre de 2016 y entre 24,6 y 30,9 °C en mayo de 2017 (Tabla 13.1). Las temperaturas más altas en mayo están asociadas a una mayor irradiación solar en este mes (3.5- 4 kWh/m²) frente a octubre (3 -3.5 kWh/m²; IDEAM, 2017d) y a la diferencia de horarios entre los muestreos. Las temperaturas más bajas se presentaron en los ríos y las más altas en los frentes de ríos y aguas marinas.

Tabla 13.1. Temperatura del agua superficial registrada de las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en octubre de 2016 y mayo de 2017.

Zona	Estación	oct-16		may-17	
		Hora	Temperatura (°C)	Hora	Temperatura (°C)
López - Timbiquí	R. Micay	09:32	24,1	08:56	24,6
	F. Micay	07:42	27,4	07:55	28,4
	F. Saija	07:10	27,1	07:18	28,6
	R. Saija	12:55	24,7	11:29	26,5
	F. Timbiquí	10:47	28,5	07:33	28,3
	R. Bubuey	14:18	27,4	08:16	28,2
	F. Norte Timbiquí	11:37	28,5	12:04	30,3
	Bocana Timbiquí	11:52	27,8	11:27	28,8
	F. Bocana Timbiquí	11:25	28,6	12:16	29,7

Zona	Estación	oct-16		may-17	
		Hora	Temperatura (°C)	Hora	Temperatura (°C)
	Desemb. Timbiquí	12:17	24,7	10:56	26,0
	R. Timbiquí	12:34	24,2	10:48	25,4
	F. Sur Timbiquí	11:09	28,6	12:30	30,9
	Arriba Río Timbiquí	12:50	24,0	10:12	25,5
Guapi	F. Guajui	10:26	28,2	07:08	28,4
	F. Guapi boya	08:22	27,2	12:55	29,4
	R. Guajui	15:07	26,3	16:07	26,8
	R. Guapi	17:52	25,0	13:38	26,9
Gorgona	Horno Gorgona	10:29	27,6	10:41	28,6
	Vertimiento Gorgona	10:41	27,6	10:22	27,4
	Antiguo Muelle	10:50	27,8	10:09	28,3
	P. Blanca	11:22	28,9	09:47	28,0
	Gorgonilla	11:08	28,0	09:28	28,4

En la Figura 13.3, se muestran los valores de salinidad del agua superficial durante los muestreos de octubre de 2016 y mayo de 2017. En las estaciones correspondientes a ríos, las salinidades oscilaron entre 0 y 0,5, calificando como aguas dulces (Knox, 2001; Figura 13.3). En el muestreo de octubre, los frentes de los ríos Micay, Saija, Timbiquí de la zona López – Timbiquí presentaron condiciones estuarinas polihalinas (salinidades entre 10 y 17, Knox, 2001), mientras que los frentes de Guajui y Guapi condiciones de aguas marinas oligohalinas (salinidades entre 17 y 30). En mayo de 2017 las condiciones de salinidad variaron de manera importante, aumentando en los frentes de los ríos Micay y Timbiquí. Estos cambios están relacionados directamente con el nivel de marea en el que fueron realizadas las mediciones y la disminución en los aportes de aguas dulces por bajas precipitaciones. En la zona de Gorgona, durante las dos épocas de muestreo, todas las estaciones presentaron condiciones marinas oligohalinas.

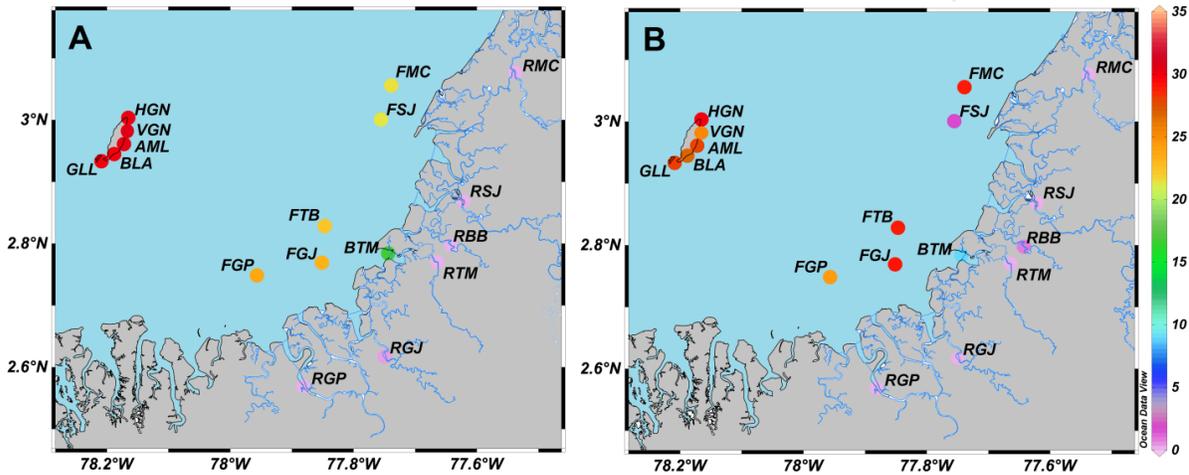


Figura 13.3. Salinidad medida en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en A) octubre 2016 y B) mayo 2017. Estaciones: RMC: río Micay, FMC: frente río Micay, FSJ: Frente río Saija, RSJ: río Saija, RBB: río Bubuey, RTM: río Timbiquí, BTM: boca río Timbiquí, FTB: frente río Timbiquí, FGJ: frente río Guajui, RGJ: río Guajui, RGP: río Guapi, FGP: frente río Guapi, HGN: horno Gorgona, VGN: vertimiento Gorgona, AML: antiguo muelle, BLA: playa Blanca, GLL: Gorgonilla.

En las aguas superficiales del Cauca, la concentración de oxígeno disuelto (OD) estuvo por encima de la referencia nacional para la preservación de flora y fauna acuática (4 mg O₂/L,

[MinSalud, 1984](#); Figura 13.4); sin embargo, se resalta el valor del río Guajui, en mayo de 2017 (4,3 mg O₂/L), con un porcentaje de saturación de oxígeno disuelto de sólo el 65%, lo que indica una tendencia al déficit de oxígeno en el agua. De acuerdo con [Kramer \(1987\)](#); [Romero \(2002\)](#); y [Allan y Castillo \(2007\)](#) valores de saturación de oxígeno menores al 70% tienen repercusiones sobre la fauna. La Figura 13.4 muestra que cada cuenca presenta un comportamiento temporal diferente, en los ríos Micay, Saija, Bubuey y Guajui, el oxígeno es mucho más alto en el segundo semestre de 2017, lo cual está asociado a la turbulencia producida por la lluvia y la disminución de la temperatura (Tabla 13.1), eventos que favorecen la solubilidad del oxígeno en el agua ([Ramírez y Viña, 1998](#); [Roldán y Ramírez, 2008](#); [Elosegi y Sabater, 2009](#)). En los ríos Timbiquí y Guapi, en octubre disminuyó la concentración de oxígeno, lo cual puede estar asociado a mayores aportes de material orgánico y a aguas residuales de las poblaciones asentadas en sus rondas.

En los frentes y bocanas las concentraciones de OD fueron más altas, producto de una mayor tasa de procesos fotosintéticos, debida al incremento de nutrientes aportados por los tributarios (Figura 13.4). En las estaciones ubicadas en Gorgona, las concentraciones de OD oscilaron entre 5,6 (87,9% saturación OD) y 7,6 mg O₂/L (98,5% saturación OD) manteniendo valores que permiten el desarrollo óptimo de la flora y fauna del área marina protegida.

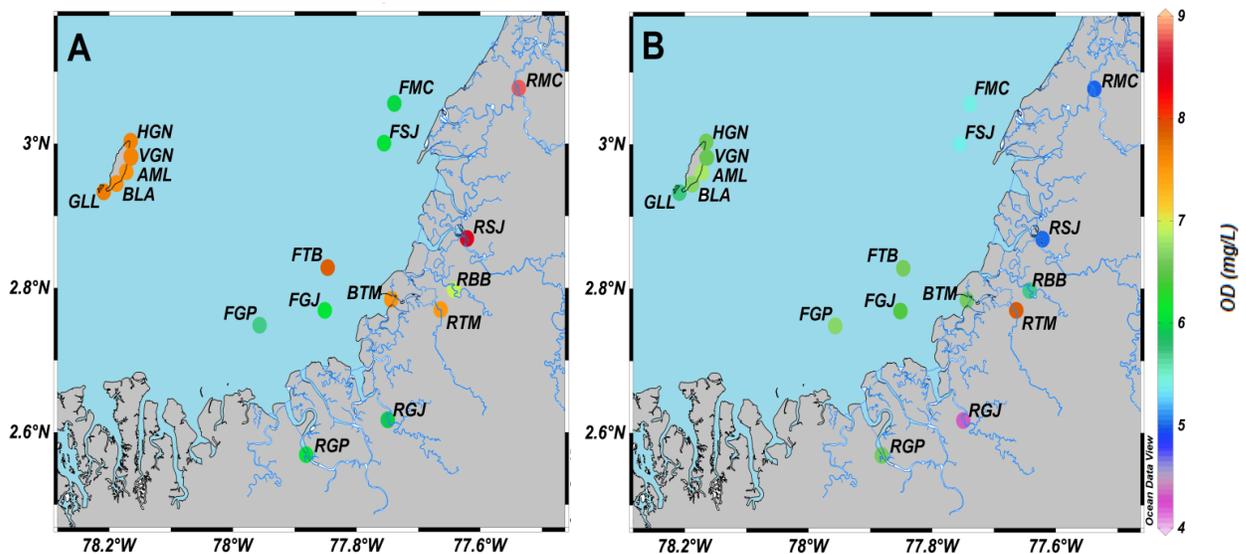


Figura 13.4. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en A) octubre 2016 y B) mayo 2017. Estaciones: RMC: río Micay, FMC: frente río Micay, FSJ: Frente río Saija, RSJ: río Saija, RBB: río Bubuey, RTM: río Timbiquí, BTM: boca río Timbiquí, FTB: frente río Timbiquí, FGJ: frente río Guajui, RGJ: río Guajui, RGP: río Guapi, FGP: frente río Guapi, HGN: horno Gorgona, VGN: vertimiento Gorgona, AML: antiguo muelle, BLA: playa Blanca, GLL: Gorgonilla.

Historicamente el oxígeno dsuelto en las aguas del departamento del Cauca ha estado por encima de la referencia colombiana para la preservación de flora y fauna acuática (4 mg O₂/L; [MinSalud, 1984](#); Figura 13.5). En el caso específico de las zonas mas influenciadas por la descarga de ríos como López Timbiquí y Guapi, se observó una tendencia entre 2001 – 2007 a presentar mayores concentraciones de oxígeno en el primer semestre, cuando usualmente se

presentan menos precipitaciones. En los años 2009, 2010 y 2011, así como en 2015, se observó un cambio en este patrón, con drásticas disminuciones de oxígeno, lo cual coincide con los eventos La Niña fuerte ocurridos entre 2010 y 2011 y el fenómeno de El Niño entre 2014 – 2015 que generó afectaciones importantes en los cambios hidrológicos de los principales ríos del país (IDEAM, 2016b; IDEAM, 2016c; IDEAM, 2017b).

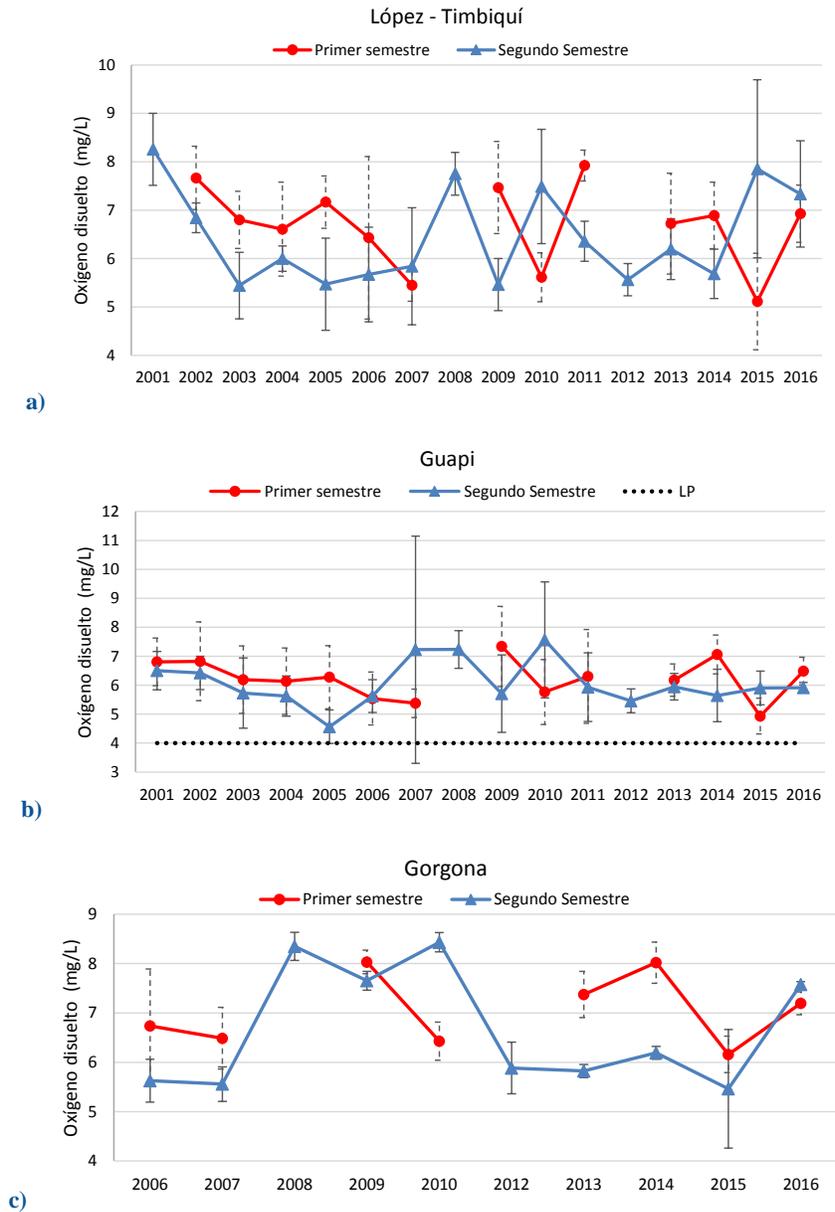


Figura 13.5. Promedios de oxígeno disuelto en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Cauca, en el primer semestre y segundo semestre de los años entre 2001 y 2016. La línea negra punteada en 4,0 mg de O₂/L indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

En la zona de Gorgona, se observaron unos picos importantes de oxígeno en los años 2008, 2010 y 2016, especialmente en el segundo semestre del año, coincidentes con lo observado en la porción continental (Figura 13.5). Esto evidencia la influencia de la variabilidad climática

interanual en la isla y de los aportes continentales provenientes de los principales ríos del departamento.

Los valores de pH en todas las estaciones de Cauca fueron acordes al tipo de agua; en las aguas dulces de los ríos oscilaron entre 6,03 y 8,2 unidades (4,5 – 9,0; [MinSalud, 1984](#)) y en las aguas estuarinas y marinas los valores oscilaron entre 7,43 y 8,02 (6,5 – 8,5 [MinSalud, 1984](#)). Se destacan los valores superiores a 7,5 en las estaciones del río Timbiquí, que son reflejo de la alta productividad primaria del sistema, coincidiendo con las altas concentraciones de oxígeno disuelto. En los ríos Bubuey y Guapi el pH fue menores a 7, asociado a procesos de respiración y degradación de materia orgánica por parte de organismos heterótrofos, procesos que liberan ácido carbónico al agua y disminuyen el pH ([Roldán y Ramírez, 2008](#)).

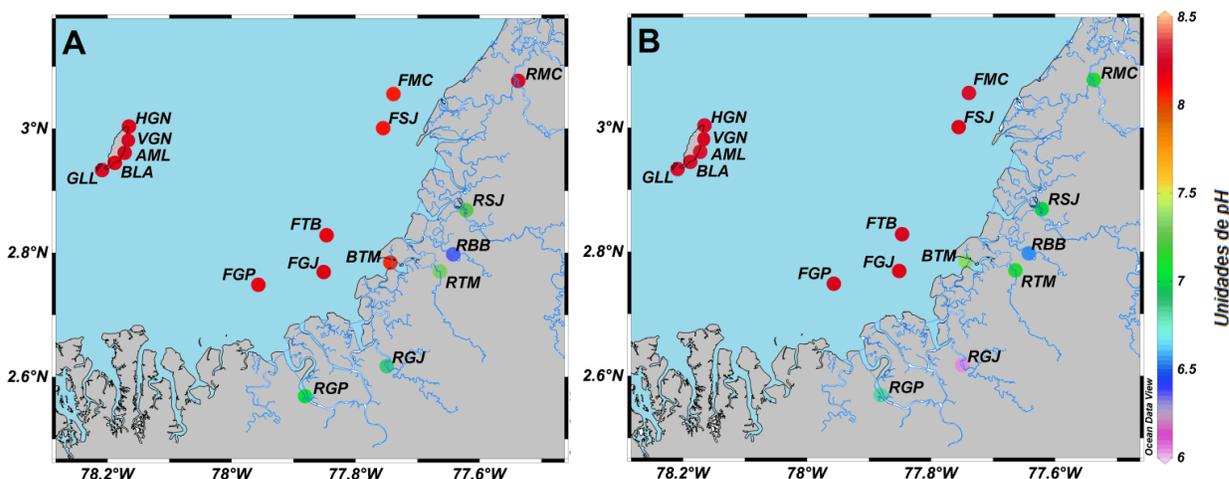


Figura 13.6. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en A) octubre 2016 y B) mayo 2017. Estaciones: RMC: río Micay, FMC: frente río Micay, FSJ: Frente río Saija, RSJ: río Saija, RBB: río Bubuey, RTM: río Timbiquí, BTM: boca río Timbiquí, FTB: frente río Timbiquí, FGJ: frente río Guajui, RGJ: río Guajui, RGP: río Guapi, FGP: frente río Guapi, HGN: horno Gorgona, VGN: vertimiento Gorgona, AML: antiguo muelle, BLA: playa Blanca, GLL: Gorgonilla.

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) fluctuaron entre 7,98 y 359 mg/L (Figura 13.7), presentándose variaciones temporales en todos los ríos. En los ríos Bubuey y Timbiquí, se registraron las mayores concentraciones en octubre 2016 y en los ríos Micay, Saija y Guajui las mayores concentraciones de SST se registraron en mayo. Este comportamiento es coincidente con las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, lo cual indica aportes de materia orgánica proveniente del lavado de suelos y de aguas residuales de los municipios aledaños. Comparando los resultados con los valores de referencia de CONAGUA (<75 mg/L; [CONAGUA, 2017](#)), la mayoría de estaciones de la zona López-Timbiquí, presentó buenas condiciones, con excepción del río Micay que presentó concentraciones superiores a 150, reflejando contaminación baja (>150mg/L; [CONAGUA, 2017](#)). Cabe resaltar que este sistema es el de mayor recorrido en el departamento y uno de los más caudalosos de la vertiente del Pacífico, y los valores reportados en este período 2016 – 2017 sólo se han alcanzado en el año 2005 y 2009 ([INVEMAR, 2017a](#)), lo cual está relacionado con crecientes del río y mayores aportes puntuales de sólidos en los meses de muestreo.

La zona de Guapi presentó valores entre 21 y 95,3 mg/L, la mayoría de estaciones presentaron buena calidad (>75<150 mg/L; [CONAGUA, 2017](#)), sólo en el río Guajui se presentaron condiciones de baja contaminación. En Gorgona los SST se encontraron en excelente calidad durante todas las mediciones, indicando que las formaciones coralinas no están en riesgo, ya que las concentraciones de SST están por debajo de los 50 mg/L ([Fabricius, 2005](#)).

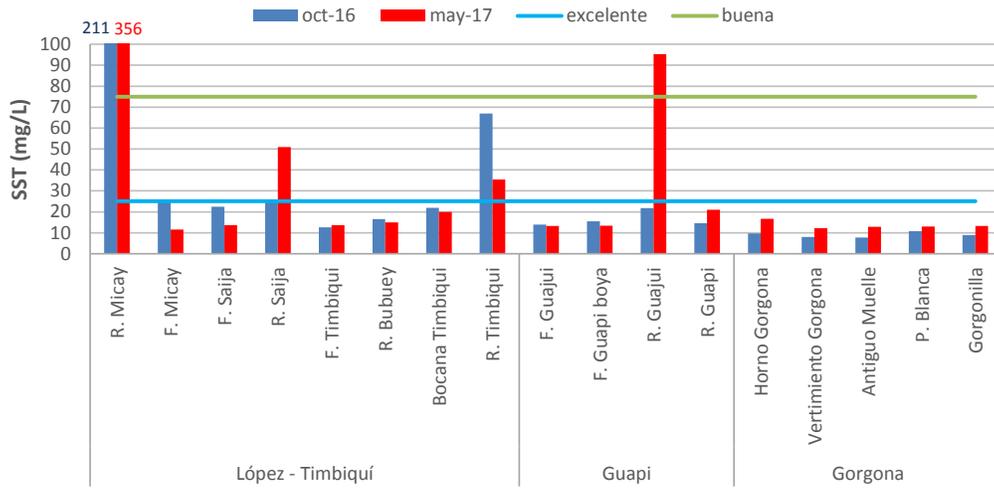


Figura 13.7. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Cauca, en octubre 2016 y mayo 2017. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas para SST propuesto por CONAGUA (2017).

Las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos se presentan en la Figura 13.8. Las concentraciones de amonio oscilaron entre menor al límite de cuantificación del método (<3,1 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) y 41,7 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$ (Figura 13.8a) en el río Bubuey en mayo de 2017, seguido del río Guajui con 11,1 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$ en octubre de 2016. Se destaca que pocas estaciones presentaron valores cuantificables de amonio en el período caracterizado. Este nutriente se puede asociar a las descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía de tierras usadas para cultivo, o por la descomposición natural de la materia orgánica ([Camargo y Alonso, 2006](#)).

La concentración de nitritos en octubre de 2016 osciló entre menor al límite de cuantificación de la técnica analítica usada (<0,7 $\mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$) en la zona de Gorgona y 8 $\mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$ en el río Saija, zona López-Timbiquí (Figura 13.8b). Estos valores se encuentran en los rangos que históricamente se han presentado en la REDCAM ([INVEMAR, 2017a](#)). Cabe resaltar que los nitritos son un compuesto intermedio en la oxidación del nitrógeno e incorporación de éste a las redes tróficas ([Heiss y Fulweiler, 2016](#)), por lo cual sus concentraciones están asociadas con aportes recientes de aguas residuales y escorrentías. Cabe destacar que los valores registrados se encuentran por debajo del criterio de calidad de efectos agudos para proteger organismos de agua dulce (80 y 350 $\mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$; [Camargo y Alonso, 2006](#)).

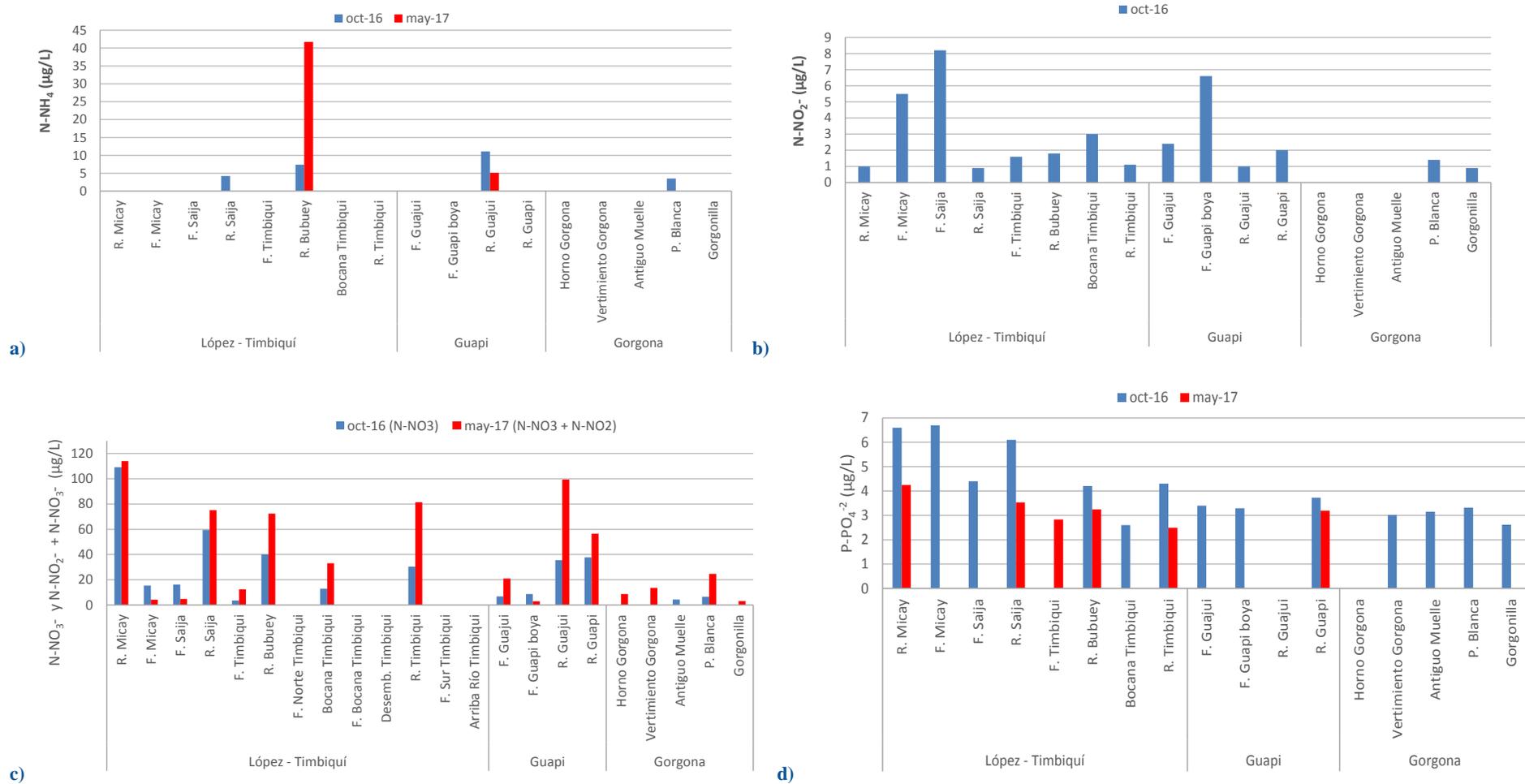


Figura 13.8. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitritos (N-NO₂⁻), c) nitratos (N-NO₃⁻) y nitritos + nitratos (N-NO₂⁻ + N-NO₃⁻) y d) ortofosfatos (P-PO₄³⁻), medidos en octubre de 2016 y mayo de 2017 en las estaciones y zonas de muestreo REDCAM del departamento del Cauca.bueno

Los valores de nitratos obtenidos en el mes de octubre de 2016, oscilaron entre menores al límite de cuantificación ($<2,10 \mu\text{g N-NO}_3^-/\text{L}$) y $109 \mu\text{g N-NO}_3^-/\text{L}$, presentándose en mayor medida en los afluentes Micay, Saija, Bubuey, Guajui y Guapi, asociados a las cargas de materia orgánica proveniente del lavado de suelos y aportes de aguas residuales. En mayo de 2017, la concentración de nitritos + nitratos ($\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$), muestra el mismo comportamiento, indicando que los ríos son la principal fuente de entrada de nutrientes a la zona marino costera del Cauca.

Las concentraciones de ortofosfatos estuvieron entre el límite de cuantificación de la técnica analítica ($<2,4 \mu\text{g PO}_4^{3-}/\text{L}$) y $6,5 \mu\text{g PO}_4^{3-}/\text{L}$ (Figura 13.8d). En la zona López-Timbiquí, se registraron los valores más altos de este nutriente, principalmente durante el muestreo de octubre de 2016, en los ríos Micay y Saija, seguido del río Guapi en la zona de Guapi. Lo anterior indica que el mayor aporte fosfatos a la zona marina costera del departamento, corresponde a los tributarios los cuales actúan como receptores de las aguas residuales y de escorrentía por agricultura. Las altas concentraciones favorecen la productividad primaria, ocasionando altas concentraciones de oxígeno en el día y pH elevados ([Roldán y Ramírez, 2008](#)). En la zona de Gorgona, los fosfatos presentaron un comportamiento similar al amonio, asociadas al cambio de marea y las lluvias, no obstante, estuvieron dentro de los registros históricos ([INVEMAR, 2017a](#)).

Para determinar la calidad microbiológica en las estaciones del departamento del Cauca, se realizaron mediciones de coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE). Los resultados tanto en CTT como en CTE evidencian los aportes de aguas residuales domésticas a los ríos Micay, Bubuey, Timbiquí, Saija, Guapi, siendo estos dos últimos los que presentaron una mayor concentración ($160.000 \text{ NMP}/\text{L}$), en el mes de mayo de 2017, valor por encima de los históricos reportados en el monitoreo REDCAM ([INVEMAR 2017a](#) y [Martínez – Campo y Bayona-Arenas, 2017](#)), lo que evidencia un deterioro significativo en la calidad de las aguas de estos afluentes, restringiendo el uso del agua dulce no solo para actividades de recreación, sino también para consumo humano previa potabilización (CTT= $20.000 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$; CTE = $2.000 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$; [MinSalud, 1984](#)). Se destaca también el incremento significativo en las concentraciones medidas entre los muestreos, evidenciando mayores aportes por precipitación en el mes de mayo.

En relación a las aguas de las islas Gorgona y Gorgonilla, se evidencia un incumplimiento a la normatividad asociada al uso recreativo del agua por contacto primario en el 100% de las estaciones monitoreadas en la REDCAM, específicamente en la variable CTE. En las estaciones Horno Gorgona, Vertimiento Gorgona, Antiguo Muelle, Playa Blanca y Gorgonilla, los reportes supera el rango histórico (Tabla 13.2) de la REDCAM, lo cual debe ser evaluado en posteriores monitoreos si es un caso puntual o si en definitiva se está presentando un deterioro asociado a mayores aportes del continente o mayor presencia de turistas en la isla.

Tabla 13.2. Concentraciones de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en los muestreos de octubre de 2016 y mayo de 2017. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de MinSalud (1984).

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		oct-16	may-17	Rango histórico	Percentil 90	oct-16	may-17	Rango histórico	Percentil 90
López - Timbiquí	R. Micay	54.000	12.000	400-280.000	39.200	4.600	12.000	20-49.000	17.500
	F. Micay	350	920	4,5-16000	920	33	920	2-2.800	347
	F. Saija	220	1.600	20-5.000	819	170	1.600	-1-800	172
	R. Saija	92.000	160.000	1700-240.000	33.285	3.300	92.000	200-160.000	20.500
	F. Timbiquí	240	140	20-7.900	1.350	11	140	20-1.400	182
	R. Bubuey	2.700	3.300	20-35.000	13.300	1.300	3.300	20-8.000	2.740
	Bocana Timbiquí	13.000	2.200	16.000	16.000	780	940	1700-1.700	1.700
R. Timbiquí	4.900	5.400	20-130.000	54.000	3.300	5.400	20-54.000	5.010	
Guapi	F. Guajui	220	49	2-16.000	2.280	9,3	<1,8	2-2.300	364
	F. Guapi boya	9.200	16.000	2-16.000	3.050	320	5.400	<1,8-16.000	1.147
	R. Guajui	16.000	92.000	78-172.200	27.713	2200	54.000	45-50.000	4.750
	R. Guapi	>160.000	160.000	20-92.000	54.000	3.400	160.000	20-44.000	8.000
Gorgona	Horno Gorgona	920	350	<1,8-2.400	1.420	47	350	<1,8-540	126
	Vertimiento Gorgona	540	540	13-880	628	14	540	<1,8-66	59
	Antiguo Muelle	920	540	<1,8-3.500	367	4,5	540	<1,8-130	26
	P. Blanca	240	1.600	<1,8-3.500	588	240	350	<1,8-240	158
	Gorgonilla	350	210	<1,8-3.500	650	24	210	<1,8-170	103
Límite permisible contacto primario		1.000				200			
Límite permisible contacto secundario		5.000							

Las concentraciones hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno (HPDD) oscilaron entre menores al límite de cuantificación (0,07 µg HPDD/L) y 1,9 µg HPDD/L en el frente del río Guajui (Figura 13.9), valores que no evidencian contaminación según lo propuesto por la [UNESCO \(1984\)](#); [Zanardi et al. \(1999\)](#); [Acuña-González et al., \(2004\)](#). Este comportamiento se ha mantenido el monitoreo REDCAM en los años 2014 a 2016 (Figura 14.9) en las zonas López – Timbiquí y Guapi, mientras que en Gorgona, se presentaron valores superiores a 5 µg HPDD/L, pero inferiores a 10 µg HPDD/L, lo que indican contaminación baja, producida por tránsito de embarcaciones y vertimientos de aguas residuales, específicamente en la estación Horno Gorgona (7,2 µg HPDD/L).

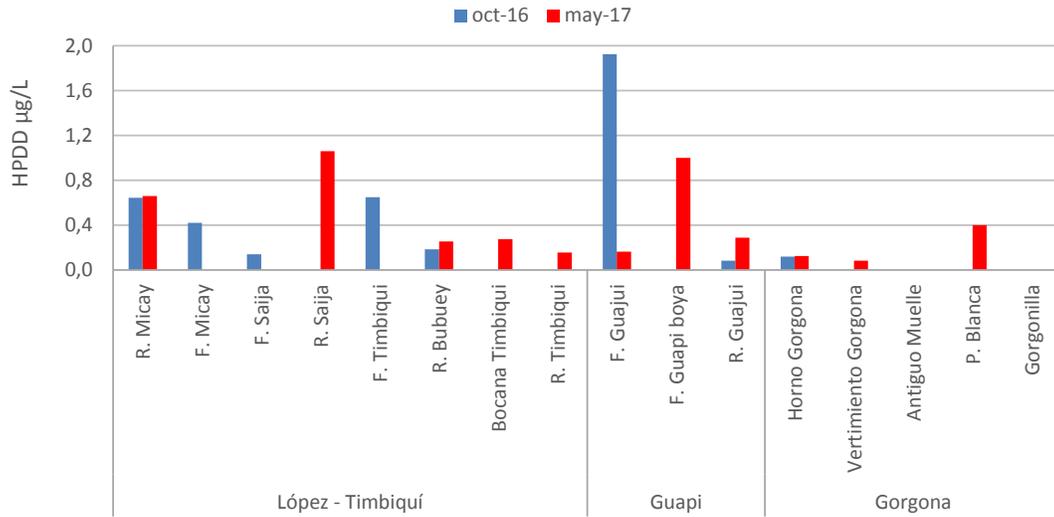


Figura 13.9. Concentraciones de hidrocarburos Disueltos y Dispersos (HPDD) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Cauca, en octubre 2016 y mayo 2017.

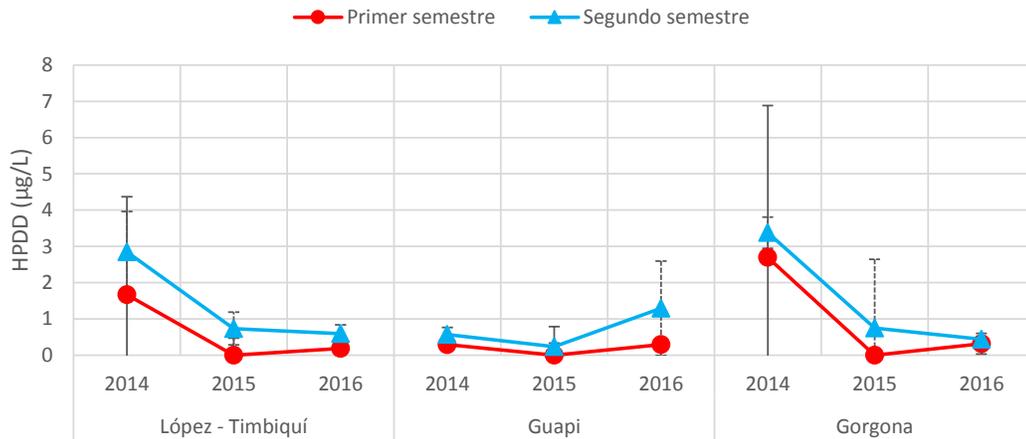


Figura 13.10. Promedios históricos de los HPDD en las zonas REDCAM (2014 – 2016) en el departamento del Cauca.

En relación a los plaguicidas, en octubre de 2016 y mayo de 2017 las concentraciones de los 41 compuestos o ingredientes activos estuvieron por debajo del límite de cuantificación de las técnicas analíticas establecidas en el LABCAM.

En la Tabla 13.3, se relacionan los metales disueltos medidos en las aguas superficiales durante el muestreo de octubre de 2016. Solamente el cobre (Cu), el zinc (Zn) y el hierro (Fe), presentaron valores por encima del límite de cuantificación, en el caso del Fe en algunas estaciones se registraron concentraciones por encima de los valores de referencia para efectos crónicos en la biota acuática (Buchman, 2008), como es el caso de las estaciones frente de la bocana del río Timbiquí y en el horno Gorgona. Cabe resaltar que estas concentraciones están dentro de los rangos históricos de la REDCAM (INVEMAR, 2017a)

Tabla 13.3. Metales disueltos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Cauca. Los valores de referencia corresponde a Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) y el valor con asterisco (*) corresponde a la referencia para cromo (CONAMA, 2005). Las estaciones sombreadas corresponden a aguas dulces.

Zona	Estación	Octubre de 2016						Mayo de 2017					
		Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Fe	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Fe
		µg Pb/L	µg Cd/L	µg Cu/L	µg Zn/L	µg Ni/L	µg Fe/L	µg Pb/L	µg Cd/L	µg Cu/L	µg Zn/L	µg Ni/L	µg Fe/L
López - Timbiquí	R. Micay	<3,10	<5,00	<0,90	<10,0	<5,00	101	<3,10	<0,42	1,18	30,2	<1,0	<4,7
	F. Micay	<3,10	<5,00	<0,90	<10,0	<5,00	<10,0	<3,10	<0,42	<0,90	<6,9	<1,0	<4,7
	F. Saija	<3,10	<5,00	<0,90	<10,0	<5,00	20,4	<3,10	<0,42	<0,90	<6,9	<1,0	20,6
	R. Saija	<3,10	<5,00	1,2	<10,0	<5,00	115	<3,10	<0,42	<0,90	12,3	<1,0	76,3
	R. Bubuey	<3,10	<5,00	1,3	20,7	<5,00	132	<3,10	<0,42	1,47	26,4	<1,0	57,2
	F. Bocana Timbiquí	<3,10	<5,00	<0,90	22,7	<5,00	104	<3,10	<0,42	<0,90	<6,9	<1,0	<4,7
	F. Sur Timbiquí	<3,10	<5,00	2,1	<10,0	<5,00	10,7	<3,10	<0,42	<0,90	<6,9	<1,0	-
Guapi	F. Guapi boya	<3,10	<5,00	1,3	<10,0	<5,00	<10,0	<3,10	<0,42	2,29	66,7	<1,0	55,7
	R. Guajui	<3,10	<5,00	1	<10,0	<5,00	<10,0	<3,10	<0,42	<0,90	28,6	<1,0	50,9
	R. Guapi	<3,10	<5,00	2,2	28,9	<5,00	120	<3,10	<0,42	<0,90	<6,9	<1,0	-
Gorgona	Horno Gorgona	<3,10	<5,00	1,3	22	<5,00	107	<3,10	<0,42	<0,90	<6,9	<1,0	<4,7
	Vertimiento Gorgona	<3,10	<5,00	<0,90	<10,0	<5,00	<10,0	<3,10	<0,42	<0,90	<6,9	<1,0	8,16
	Antiguo Muelle	<3,10	<5,00	<0,90	<10,0	<5,00	<10,0	<3,10	<0,42	<0,90	<6,9	<1,0	<4,7
	P. Blanca	<3,10	<5,00	<0,90	<10,0	<5,00	<10,0	<3,10	<0,42	<0,90	<6,9	<1,0	<4,7
	Gorgonilla	<3,10	<5,00	<0,90	<10,0	<5,00	<10,0	<3,10	<0,42	<0,90	<6,9	<1,0	<4,7
Referencia Efectos crónicos agua marina		8,1	8,8	3,1	81	8,2	50	8,1	8,8	3,1	81	8,2	50
Referencia Efectos crónicos agua dulce		2,5	0,25	9	120	52	350	2,5	0,25	9	120	52	350

13.2.1 Calidad del agua de acuerdo con el ICAM_{PPF}

La aplicación del ICAM_{PPF} mostró que la calidad del agua superficial de las estaciones marinas y costeras en Cauca en octubre de 2016 fue 64% adecuada y 36% óptima, asociado a las bajas concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos y coliformes presentadas durante este muestreo (Figura 13.11a). Debido a las concentraciones altas de CTE en playa Blanca, esta estación presentó calidad adecuada, a diferencia de las demás estaciones en Gorgona. En mayo de 2017 (Figura 13.11a), la calidad del agua disminuyó, en López- Timbiquí se presentaron dos estaciones en condiciones aceptables, en Guapi una estación en calidad inadecuada y en Gorgona las estaciones cambiaron de óptima a adecuada, debido al aumento significativo en las concentraciones de coliformes termolerantes, propiciado por las lluvias presentes en este mes.



Figura 13.11. Calidad de las aguas en las estaciones marinas y estuarinas de la REDCAM en el departamento de Cauca en el muestreo de a) octubre de 2016 y b) mayo de 2017, evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

13.3 CALIDAD DE SEDIMENTOS

Para determinar la calidad de los sedimentos en la estación Bocana río Timbiquí, se midieron hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados. Adicionalmente, desde el año 2014 se viene midiendo mercurio total (Hg-T) en 11 estaciones priorizadas, con el fin de establecer el impacto de la actividad minera que se realiza aguas arriba en las cuencas Saija y Timbiquí.

Tanto en octubre de 2016, como en mayo de 2017, las concentraciones de hidrocarburos totales, y de hidrocarburos aromáticos policíclicos, estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método. En cuanto a los plaguicidas, en octubre de 2016 se cuantificó Heptacloro con un valor de 2,51 ng/g. Este compuesto es un insecticida que se volatiliza con facilidad, una fracción se desplaza a la atmósfera y la otra se deposita en los sedimentos. Si bien existen pocos datos acerca de su toxicidad y no hay valores de referencia, se ha corroborado que el Heptacloro puede

generar efectos sobre el sistema nervioso central y el hígado en personas y animales ([CNRCOP, 2018](#)).

En la Tabla 13.4 se muestran las concentraciones de metales medidos en octubre de 2016 y mayo de 2017 y los valores de referencia para efectos probables (PEL) sugeridos por la NOAA ([Buchman, 2008](#)). El único metal que superó los valores de referencia fue el níquel en los dos muestreos. Es de resaltar que durante todo el monitoreo REDCAM las concentraciones de Ni no han sido menores a 80 µg Ni/g, lo que puede indicar que se debe a la composición de las rocas que conforman el lecho marino.

Tabla 13.4. Concentraciones de metales totales medidos en sedimentos de la estación Bocana río Timbiquí del departamento del Cauca, en octubre de 2016 y mayo de 2017. *Valor de referencia para sedimentos continentales (Buchman, 2008).

Metales	Unidad	Muestreo oct-2016	Muestreo may-2017	Valor de Referencia PEL*
Pb	µg/g	11,58	9,12	91,3
Cd	µg/g	<0,5	<0,5	3,5
Cr	µg/g	141	81,6	90,0
Cu	µg/g	84,8	80,5	197,0
Zn	µg/g	80	86,9	315,0
Ni	µg/g	120,3	89,8	36,0
Fe	mg/g	51,3	46,1	-
Hg	ng/g	69	89,0	486,0

En cuanto al mercurio (Hg) en sedimentos de la cuenca baja del río Timbiquí y Saija, se registraron concentraciones detectables en todas las estaciones (Tabla 13.5), sin embargo, no superaron el valor de referencia para sedimentos continentales y marinos, indicando que el uso de este metal en la minería artesanal y a pequeña escala que se desarrolla aguas arriba no impacta los sedimentos de la zona baja y la zona costera del departamento ([INVEMAR, 2017f](#)). Sin embargo, las concentraciones varían en el tiempo ([INVEMAR, 2017f](#)), por lo tanto, es necesario continuar con el monitoreo en esta matriz y se recomienda adicionar una estación control en una cuenca libre de minería para comparar estos valores con valores mas cercanos a las concentraciones naturales de Hg-T en el Pacífico colombiano.

Tabla 13.5. Concentraciones de mercurio medido en sedimentos superficiales en la cuenca baja del río Timbiquí y Saija del departamento del Cauca medidas en octubre de 2016 y mayo de 2017. Los valores de referencia fueron tomados de la NOAA (Buchman, 2008). – No registrado.

Estación	Octubre 2016	may-2017
	ng/g	ng/g
Arriba río Timbiquí	37,5	59,9
Rio Timbiquí	11,8	-
Desembocadura río Timbiquí	41,1	53,6
R. Saija antes Cabecera municipal	13,1	87,2
Desembocadura río Saija	42,2	78,6
Valores referencia PEL sedimentos continentales	486	
Frente Sur Bocana río Timbiquí	80,4	43,3
Frente Norte Bocana río Timbiquí	70,6	99,3

Estación	Octubre 2016	may-2017
	ng/g	ng/g
Bocana río Saija	82,5	92,9
Frente Bocana río Saija	22,10	89,3
Frente Sur Bocana río Saija	62	105
Frente Norte Bocana río Saija	11,7	16,1
Valores referencia PEL sedimentos marinos	700	

13.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ La calidad del agua marino costera del departamento del Cauca estuvo altamente influenciada por la concentración de coliformes termotolerantes que se incrementó en el período de mayores precipitaciones (mayo 2017) en las cuencas Saija, Timbiquí, Micay y Guapi, causando deterioro de las condiciones para el establecimiento de flora y fauna acuática tanto en el continente como en la región insular.
- ❖ Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo y metales en aguas y sedimentos registrados durante los muestreos realizados en octubre del 2016 y mayo del 2017, no representan riesgo para la biota de los ecosistemas marino- costeros del departamento del Cauca, ya que se encuentran por debajo de los valores referenciados en guías internacionales.
- ❖ Las concentraciones de Hg-T en los sedimentos de las cuencas bajas de Saija y Timbiquí si bien no representan riesgo para la biota según las referencias internacionales, si muestran tendencia a la contaminación, especialmente en los periodos de incremento de lluvias, por lo cual se recomienda continuar con este seguimiento como insumo para establecer medidas de control a la contaminación por minería aurífera en el departamento.

NARIÑO

Ostin Garcés-Ordóñez



Río Chagüí, Tumaco. Foto: Ostin Garcés.

EQUIPO TÉCNICO CORPONARIÑO

Blanca Marcela Caviedes C. – Profesional Universitario
Gerardo Arteaga Morales – Coordinador Centro Ambiental Costa Pacífico

14. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE NARIÑO

En la zona costera de Nariño se encuentran ecosistemas marinos y costeros estratégicos como manglares, estuarios, planos intermareales de lodo, playas y acantilados que brindan bienes y servicios ambientales de gran importancia y que influyen sobre la económica de las familias que aprovechan sus recursos ([García et al., 2012](#)). Así mismo, se encuentran asentamientos humanos con precarios servicios de saneamiento básico y se desarrollan diferentes actividades productivas, las cuales generan residuos contaminantes que pueden deteriorar la calidad del agua y limitar sus diferentes usos. Entre las fuentes que generan contaminación están: (I) las aguas residuales domésticas (ARD), (II) la inadecuada disposición de residuos sólidos, (III) las escorrentías agrícolas, (IV) las escorrentías y aguas residuales de la minería, (V) los residuos de la actividad portuaria y del tráfico marítimo y (VI) los derrames de petróleo.

Con el propósito de obtener información que facilite la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional de Nariño- CORPONARIÑO, para el manejo integral del medio ambiente marino, la REDCAM realiza desde el año 2001 la evaluación y diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, microbiológicas y de contaminantes orgánicos e inorgánicos. El presente informe contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras en base a los muestreos realizados en el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017.

14.1 ZONAS DE MONITOREO

Para evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras de Nariño, la REDCAM cuenta con una red de 30 estaciones de monitoreo, distribuidas geográficamente en tres zonas: Costa Norte, Ensenada de Tumaco y Costa Sur (Figura 14.1), las cuales se describen a continuación:

La zona **Costa Norte** se extiende desde la frontera con el departamento del Cauca hasta la punta Cascajal, cuenta con once estaciones, en las cuales se muestrea agua superficial, en tres de las cuales (Patianga+Satianga, brazo Patía y playa Mosquera) se muestrean sedimentos (Figura 14.1). Estas estaciones abarcan parte de las cuencas hidrográficas de los ríos Patía y Sanquianga, y el Parque Nacional Natural Sanquianga, donde se encuentra el 53% de la cobertura de manglar total del departamento ([PNNC, 2017](#)). En esta zona se sitúan además poblaciones de los municipios costeros de Francisco Pizarro, Mosquera, Olaya Herrera, La Tola y El Charco los cuales tienen bajas coberturas de saneamiento básico ([SUI, 2017](#)).

La zona **Ensenada de Tumaco** se encuentra el municipio de Tumaco, uno de los más poblados del Pacífico colombiano (203.971 hab. a 2017; [DANE, 2005](#)), y están las desembocaduras de los ríos Rosario, Mejicano, Guayaros, Changüí, y Curay. En este municipio se desarrolla un gran número de actividades productivas agropecuarias, mineras, pesqueras, portuarias, de comercio y de turismo. La zona tiene 17 estaciones de muestreo para aguas superficiales, en dos de las cuales (frente a ríos y río Rosario) se recolectan sedimentos para medir contaminantes (Figura 14.1).

La zona **Costa Sur**, comprende el área desde el sur de la Ensenada de Tumaco hasta el río Mataje, en el límite con el Ecuador. Esta zona está representada por las principales cuencas hidrográficas de los ríos Mataje y Mira, parte del trayecto de ambos ríos es frontera entre

Ecuador y Colombia, en las cuales se desarrollan actividades agropecuarias y han sido afectadas en mayor medida por derrames de petróleo ([DANE, 2013](#); [INVEMAR, 2015](#)). En esta zona se ubican dos estaciones donde se toman muestras de aguas y de sedimento (Figura 14.1).

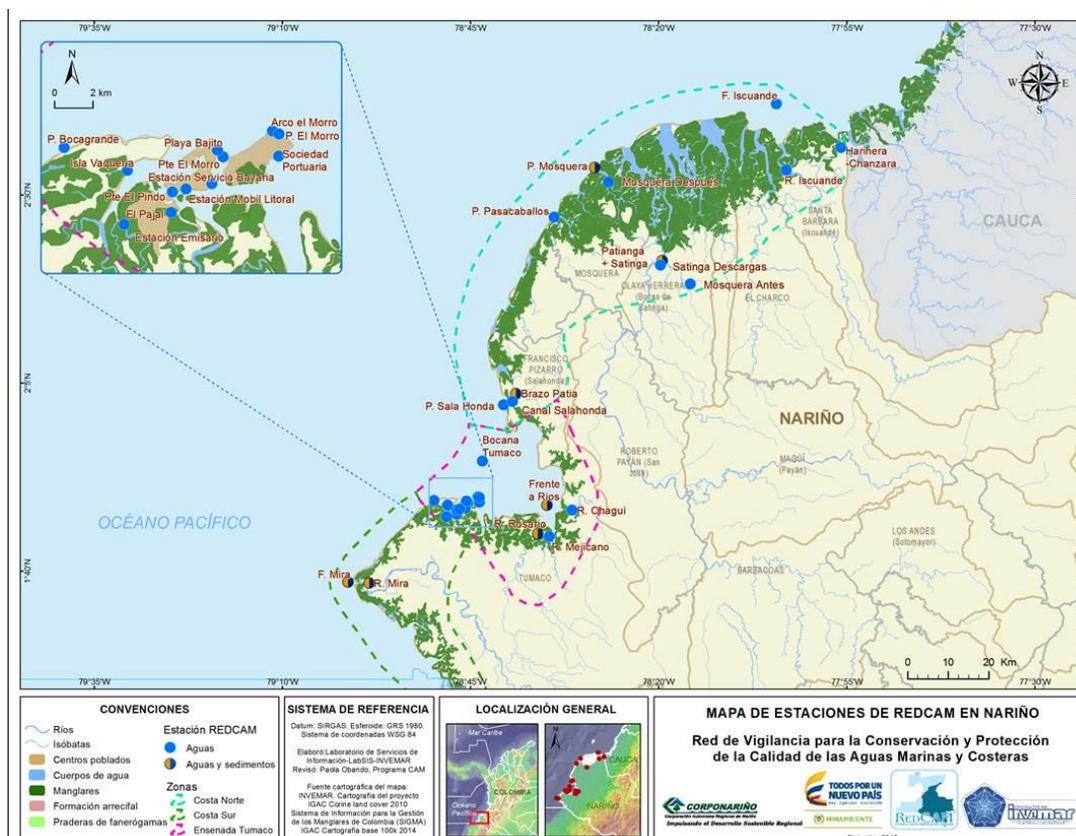


Figura 14.1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos azules y marrón) en el departamento de Nariño.

Los muestreos fueron realizados por el INVEMAR, con el acompañamiento de CORPONARIÑO, entre los días 04 y 06 de diciembre de 2016 (en adelante, diciembre de 2016) y en los días 15 y 17 de mayo de 2017 (en adelante, mayo de 2017). Todos los muestreos se hicieron durante el reflujos mareal. En noviembre de 2016 se registró una precipitación acumulada de 140 mm, los primeros días de diciembre hasta de 30 mm, en abril de 2017 de 160 mm y en mayo no existe información ([IDEAM, 2017a](#)).

14.2 CALIDAD DE AGUAS

La temperatura del agua en los tres muestreos realizados, se midió entre las 06:44 am y 05:58 pm. En diciembre de 2016 la temperatura osciló entre 23,5 y 26,3 °C y en mayo de 2017 entre 24,6 y 29,8 °C. Estos cambios de temperatura estuvieron relacionados con la hora del muestreo (Tabla 14.1), y se encuentran dentro del rango histórico de esta variable en las estaciones del departamento (23,4 y 31,5 °C; [INVEMAR, 2017a](#)).

Tabla 14.1. Temperatura del agua superficial registrada de las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en diciembre de 2016 y mayo de 2017. No medido (-).

Zona	Estación	dic-16		may-17	
		Hora	Temperatura (°C)	Hora	Temperatura (°C)
Costa Norte Tumaco	Brazo Patía	16:37	25,9	14:00	27,6
	R. Iscuandé	13:15	26,0	07:20	26,9
	Harinera Chanzará	14:12	28,4	06:30	27,7
	Canal Mosquera antes	09:25	26,1	09:12	28,4
	Canal Mosquera después	09:40	26,3	09:19	28,4
	Canal Salahonda	17:05	26	14:21	28,7
	Playa Mosquera	09:50	26,3	09:40	28,7
	Playa Pasacaballos	08:45	26,1	08:40	28,4
	Playa Salahonda	16:50	25,9	14:12	28,3
	Patianga + Satinga	10:50	24,5	10:29	25,4
	Satinga antes descargas	11:05	24,6	11:50	26,1
Ensenada Tumaco	Arco El Morro	11:19	25,4	10:29	27,7
	Bocana Tumaco	17:58	26,2	16:19	29
	EDS Mobil Litoral	12:26	25,8	11:10	29,1
	EDS Bavaria	12:15	26,1	11:17	29,3
	El Pajal	12:59	26	10:53	29
	Frente a Ríos	10:15	25,8	09:48	29,8
	Isla Vaquería	06:44	24,9	11:26	26,7
	Playa Bajito	12:00	26,3	11:36	29,1
	Playa Bocagrande	07:06	25,5	11:05	28,4
	Playa El Morro	11:06	25,9	10:13	28,7
	Puente El Morro	11:53	26,1	11:25	29
	Puente El Pindo	12:37	26	11:01	29,5
	Río Chagüí	09:02	25,6	09:20	28,6
	Río Mejicano	09:27	26	09:00	29,6
	Río Rosario	09:48	25,9	08:30	29,3
Sociedad Portuaria	11:38	26,1	10:39	29,1	
	Emisario	-	-	11:36	27,6
Costa Sur Tumaco	Frente del río Mira	08:14	24,7	09:10	25,7
	Río Mira	08:48	23,5	0,356	24,6

Históricamente la temperatura del agua marina y estuarina superficial en las zonas de muestreo no muestran un comportamiento claramente definido, que esté relacionado con las temporadas de altas y bajas precipitaciones del departamento (primer y segundo semestre del año, respectivamente), ni tampoco con eventos climáticos de mayor magnitud como El Niño y La Niña, en el cual se esperaría que aguas más cálidas en los eventos El Niño registrado en los años 2002, 2009 y 2015 y aguas menos cálidas en los eventos La Niña de los años 2007-2008, 2010 y 2012 (Figura 14.2). Esta condición podría estar asociada a la variabilidad en la hora de medición durante el día, aporte de agua menos cálida por ríos como Mira, Patía, Sanquianga, Satinga, Rosario, entre otros que desembocan en el océano Pacífico nariñense y en donde además la dinámica del flujo y reflujo mareal podría contribuir a la mezcla de las aguas.

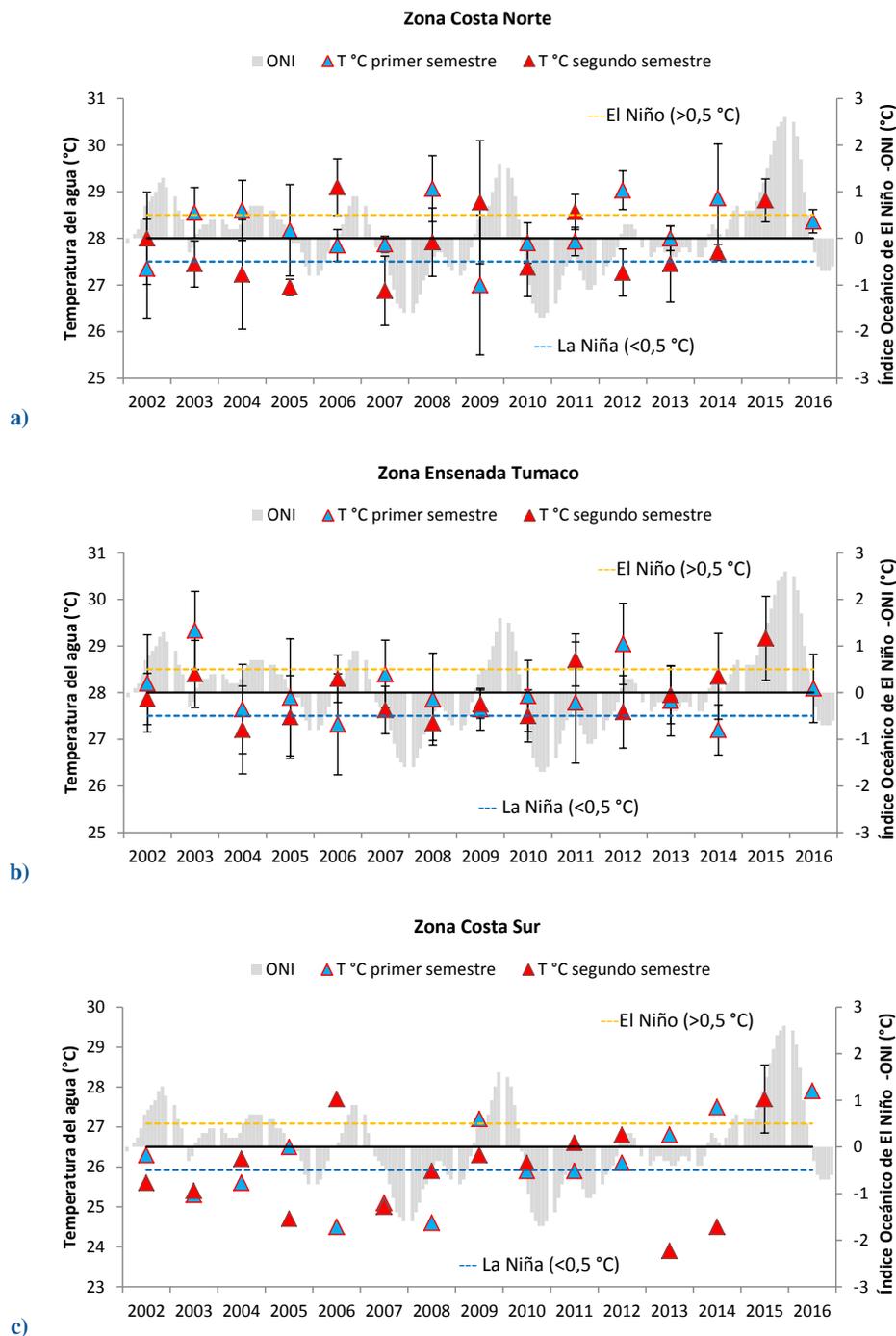


Figura 14.2. Comportamiento histórico de la temperatura del agua superficial en las estaciones marinas y estuarinas de las zonas de muestreo en Nariño: Costa Norte (a), Ensenada de Tumaco (b) y Costa Sur (c), Vs el índice oceánico de El Niño (ONI) entre los años 2002 y 2016 reportados por NOAA (2018). Valores ONI menores que -0,5 °C indica un evento La Niña, y mayores que 0,5 °C un evento El Niño.

En diciembre de 2016 y mayo de 2017, la salinidad del agua superficial en las estaciones de muestreo osciló entre 0 y 31,4 (Figura 14.3). De acuerdo con la clasificación de las aguas por la

salinidad descrita en [Knox \(2001\)](#), las estaciones Patianga+Satinga, Satinga antes descarga y los frentes norte y sur de la bocana del río Mira, se clasifican como agua dulce, las estaciones de los ríos fluctuaron entre estuarinas (3-17) y marinas oligohalinas (>17-30) entre los muestreos, debido a las mareas y las estaciones de playas se clasificaron como aguas marinas oligo y mesohalinas (>30-34), en los dos muestreos.

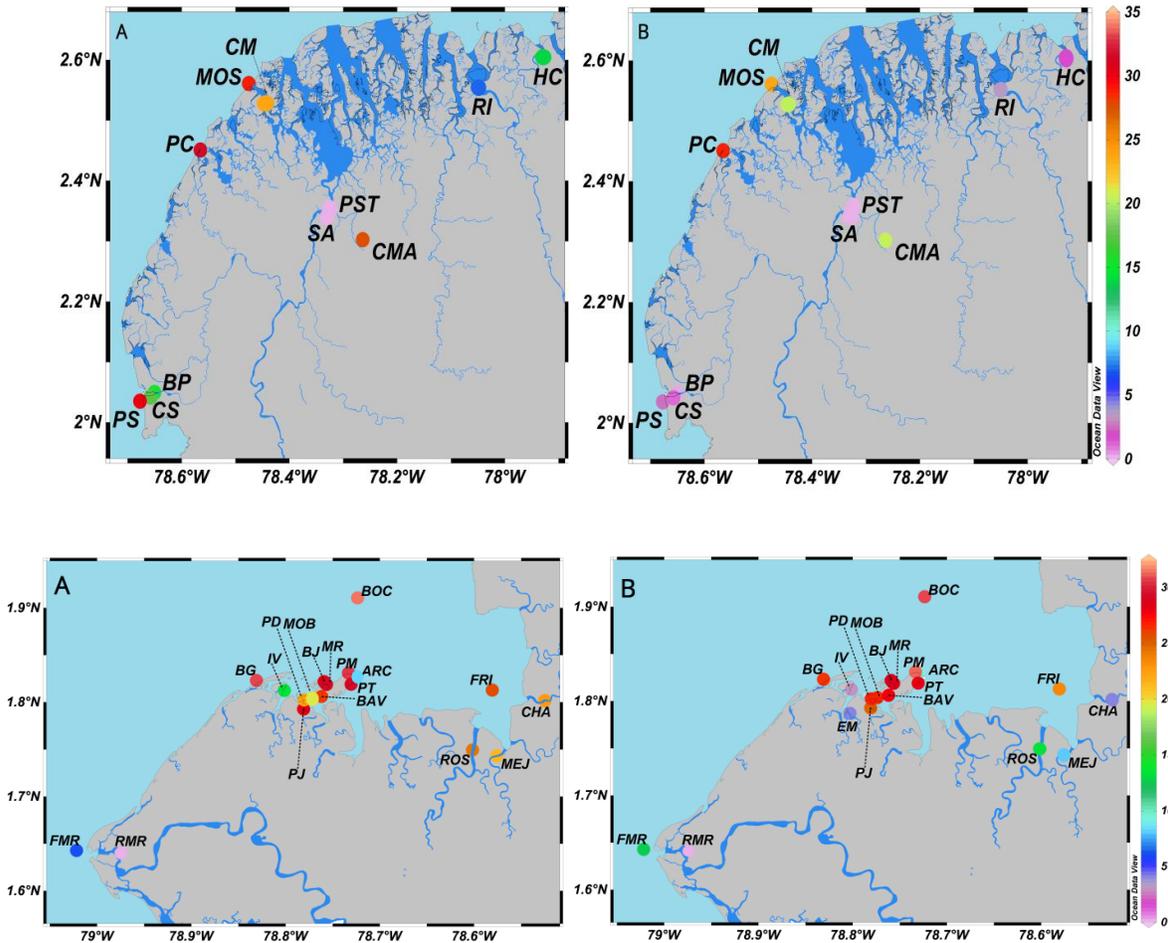


Figura 14.3. Salinidad (unidades) del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en diciembre de 2016 (A) y mayo de 2017 (B). Estaciones: BOC: Bocana Tumaco, FRI: Frente a Ríos, CHA: R. Chagüí, ARC: Arco el Morro, PM: P. El Morro, MOB: EDS Mobil , PD: Pte el Pindo, IV: Isla Vaquería, BG: P. Bocagrande, PJ: El Pajal, BAV: EDS Bavaria, PT: Sociedad Portuaria, ROS: R. Rosario, MEJ: R. Mejicano, FMR: F. Mira, RMR: R. Mira, HC: Harinera Chanzará, RI: R. Iscuandé, CM: Canal Mosquera, MOS: P. Mosquera, PC: P. Pasacaballos, CMA: Canal Mosquera Antes, PST: Patianga+Satinga, SA:Satinga antes, BP:Brazo Patía, CS: Canal Salahonda, PS: P. Salahonda.

En los dos muestreos realizados, el oxígeno disuelto (OD) osciló entre 2,9 y 8,4 mg O₂/L (Figura 14.4). El valor más bajo se registró en la estación Arco El Morro, en el muestreo de mayo 2017 (3,9 mg O₂/L), durante el reflujó mareal. En esta estación se forma una piscina natural en marea alta, donde los visitantes de la playa El Morro se bañan. Adicionalmente, en esta zona durante marea baja, desemboca el estero Los Tulicios que lleva consigo los residuos de casas palafíticas

que se encuentran en la isla, disminuyendo el oxígeno disuelto en marea baja. Las demás estaciones presentaron concentraciones de OD por encima del límite mínimo permisible (4 mg O₂/L) para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce, marinas y estuarinas, de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#); Figura 14.4). Es importante aclarar que la estación Emisario se empezó a monitorear en el 2017, por lo cual no hay registro de OD en diciembre de 2016.

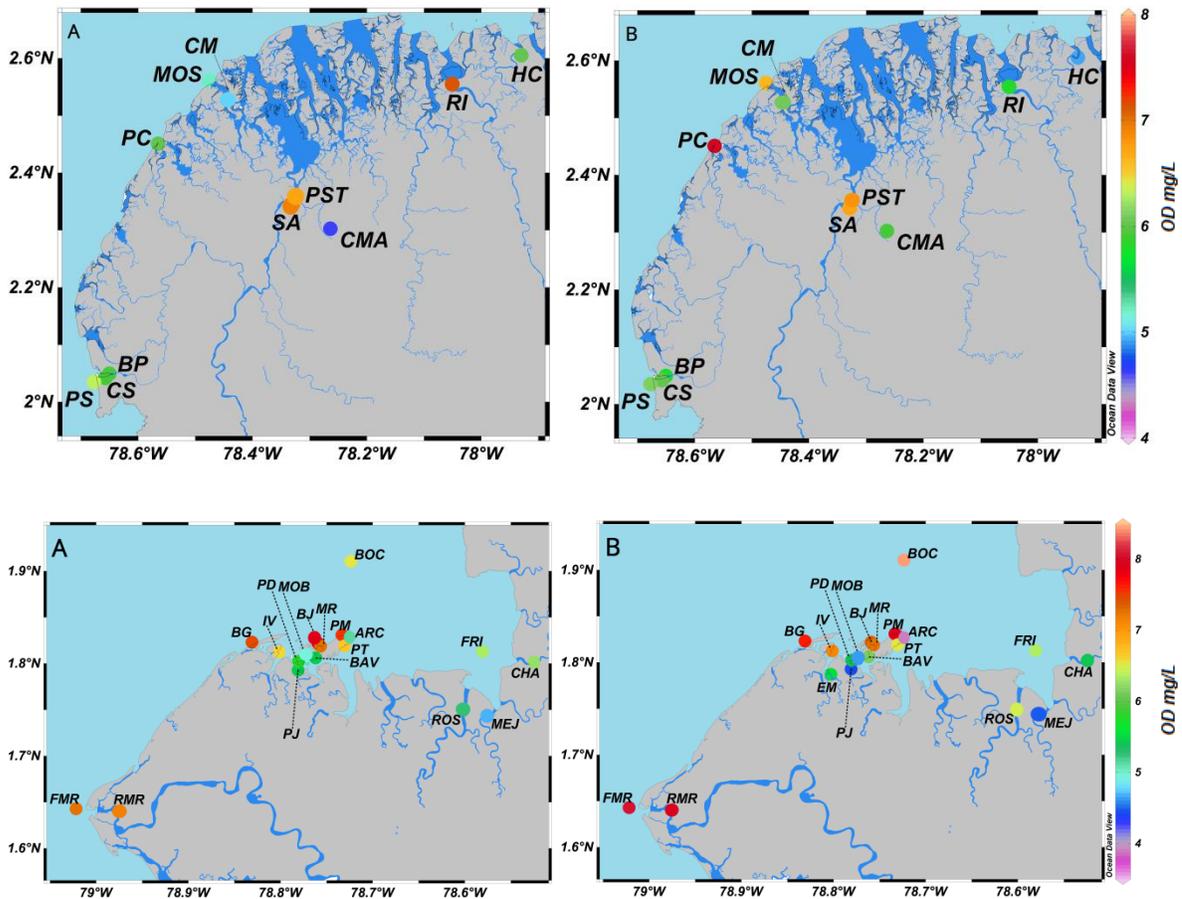


Figura 14.4. Oxígeno disuelto (mg/L) en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en los muestreos de diciembre de 2016 (A) y mayo de 2017 (B). Estaciones: BOC: Bocana Tumaco, FRI: Frente a Ríos, CHA: R. Chaguí, ARC: Arco el Morro, PM: P. El Morro, MOB: EDS Mobil , PD: Pte el Pindo, IV: Isla Vaquería, BG: P. Bocagrande, PJ: El Pajal, BAV: EDS Bavaria, PT: Sociedad Portuaria, ROS: R. Rosario, MEJ: R. Mejicano, FMR: F. Mira, RMR: R. Mira, HC: Harinera Chanzará, RI: R. Iscuandé, CM: Canal Mosquera, MOS: P. Mosquera, PC: P. Pasacaballos, CMA: Canal Mosquera Antes, PST: Patianga+Satinga, SA: Satinga antes, BP: Brazo Patía, CS: Canal Salahonda.

En la Figura 14.5 se presenta el comportamiento histórico de los promedios de OD en las zonas de muestreo de la REDCAM, departamento de Nariño. La concentración de oxígeno disuelto en el agua superficial de las zonas de muestreo se ve influenciada por las mareas y aportes de los ríos, vertimientos de agua residuales en marea baja y por la temporada climática. La tendencia general de las concentraciones promedio ha sido estable en todas zonas de muestreo,

manteniéndose en la mayoría de las mediciones valores por encima del límite mínimo permisible para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces, marinas y estuarinas del Decreto 1594 de 1984 (4 mg O₂/L; Figura 14.5). Cabe aclarar que en el año 2006 no se tienen registros de oxígeno disuelto para las zonas Ensenada de Tumaco y Costa Sur (Figura 14.5b y c).

En la zona Costa Norte (Figura 14.5a), la mayoría de las mediciones del OD se hicieron en marea alta. En la mayoría de las estaciones, las concentraciones de oxígeno disuelto se han mantenido por encima del límite permisible de 4 mg O₂/L ([MinSalud, 1984](#)), a excepción de algunos años en las estaciones Harinera-Chanzará y brazo largo del río Patía. En Harinera-Chanzará se registraron concentraciones de 3,6 mg O₂/L en 2002, 3,24 mg O₂/L en 2009, 3,84 mg O₂/L en 2011 y 3,45 mg O₂/L en 2015; y en el brazo largo del río Patía, 3,48 mg O₂/L en 2003 y 3,96 mg O₂/L en 2014. Estas estaciones están influenciadas por el río Patía que transporta alta carga de sólidos en suspensión (carga estimada de 3,5x10⁵ t/año de SST a 2015; [INVEMAR, 2017b](#)) debido a la deforestación y cambio en el uso del suelo, y por vertimientos de aguas residuales de las poblaciones ribereñas ([PNNC, 2005](#)), factores que aumentan la turbidez del agua afectando la producción primaria y aumentan la materia orgánica propiciando un mayor consumo de oxígeno ([INVEMAR, 2017b](#)).

En el registro histórico (Figura 14.5b), se muestra que en la zona Ensenada de Tumaco, donde hay una mayor influencia de residuos de la población de caseríos y del centro urbano del municipio de Tumaco, se han registrado con mayor recurrencia valores de oxígeno disuelto por debajo del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna (4 mg de O₂ /L; [MinSalud, 1984](#)). Las estaciones de esta zona con mayor recurrencia de bajas concentraciones de oxígeno han sido los ríos Mejicano (16 registros con valores entre 1,82 y 3,9 mg de O₂ /L entre 2001 y 2014), Rosario (ocho registros con valores entre 2,0 y 3,9 mg de O₂ /L en los años 2003, 2008, 2009, 2012, 2013 y 2014), Chagüí (ocho registros con valores entre 2,18 y 3,87 mg de O₂ /L en los años 2003, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013) y el estero el Pajal (tres registros con valores de 3,93, 3,94 y 3,19 mg de O₂ /L en los años 2012 y 2014; [INVEMAR, 2017a](#)), debido a que cerca de estas estaciones se encuentran asentamientos humanos que realizan vertimientos de aguas residuales directamente al río y al estero, hay presencia de manglares que aportan materia orgánica y alta carga de sólidos en suspensión. Para el 2015, en las estaciones río Mejicano, Rosario y Chagüí se estimaron valores de sólidos suspendidos de 2,8x10⁴ t/año, 2,0x10⁵ t/año, y 4,4x10⁵ t/año respectivamente ([INVEMAR, 2017b](#)) que afectan negativamente el oxígeno disuelto. En el Arco el Morro se registraron en marea baja concentraciones de 3,43 y 3,44 mg de O₂ /L los años 2012 y 2015 respectivamente. Y en la estación playa Bocagrande en el 2016 se registró un valor de 3,36 mg de O₂ /L que se asoció a condiciones ambientales de alta nubosidad y poca radiación solar a la hora de la medición (8:22 a.m.) en condición de alta marea ([INVEMAR, 2017b](#)).

En la zona Costa Sur los registros históricos de oxígeno disuelto en el río Mira y su frente han estado entre 4,71 y 8,92 mg de O₂ /L (Figura 14.5c), condiciones consideradas adecuadas para la preservación de flora y fauna acuática en aguas cálidas ([MinSalud, 1984](#)).

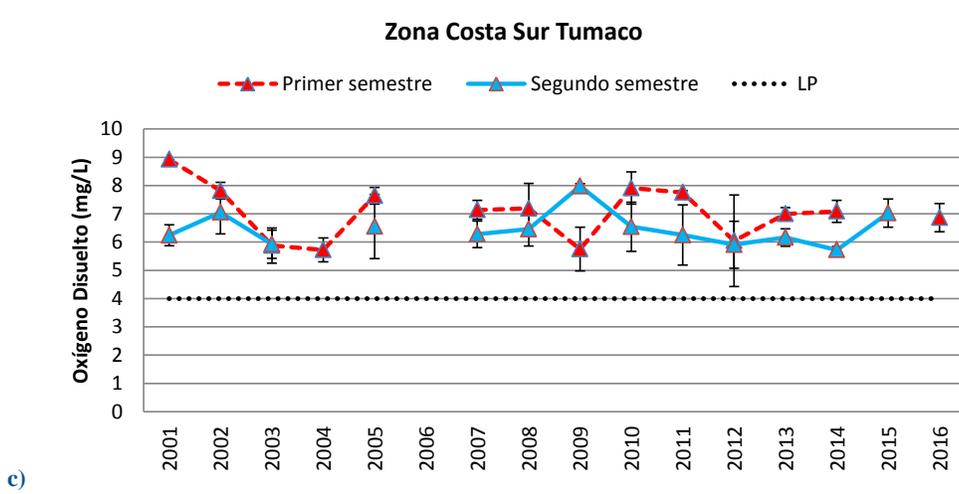
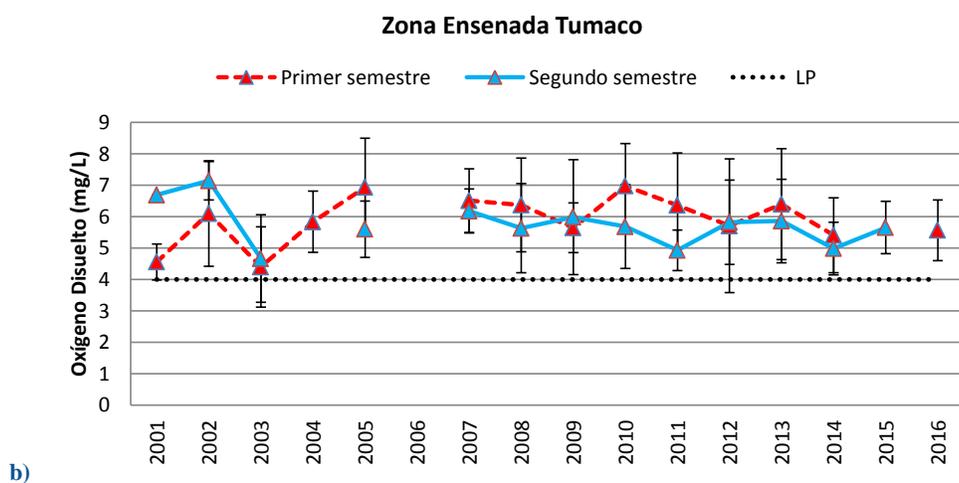
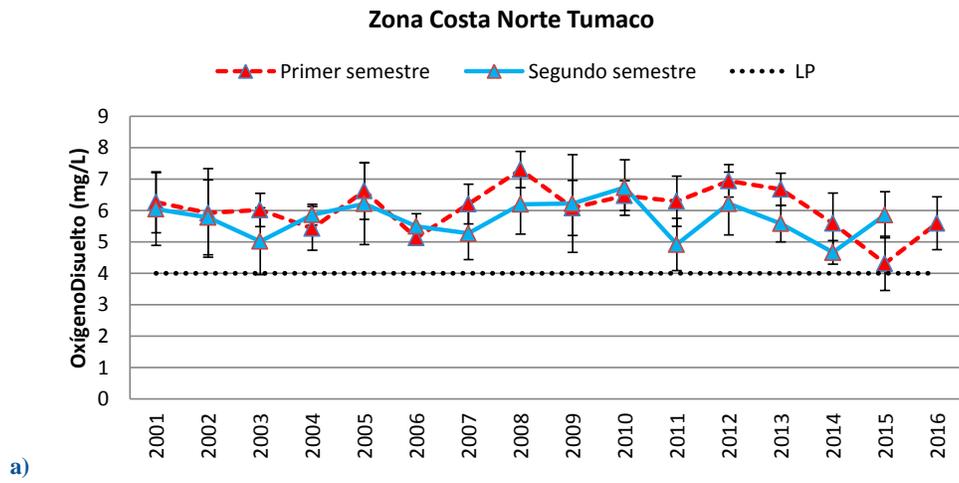


Figura 14.5. Promedios históricos de oxígeno disuelto en el agua superficial en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Nariño, en el primer semestre y segundo semestre de los años entre 2001 y 2016. La línea negra punteada en 4,0 mg de O₂/L indica el criterio de calidad (límite permisible -LP) para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

El pH en los muestreos de diciembre de 2016, y mayo de 2017 osciló entre 6,6 y 8,7, los cuales estuvieron dentro de los rangos permisibles para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces, marinas y estuarinas según la legislación nacional (Figura 14.6; [MinSalud, 1984](#)). En las estaciones Emisario, frente Norte y Sur de la bocana del río Mira no se realizó la medición del pH en diciembre de 2016 por ser estaciones nuevas que empezaron a monitorearse en mayo de 2017.

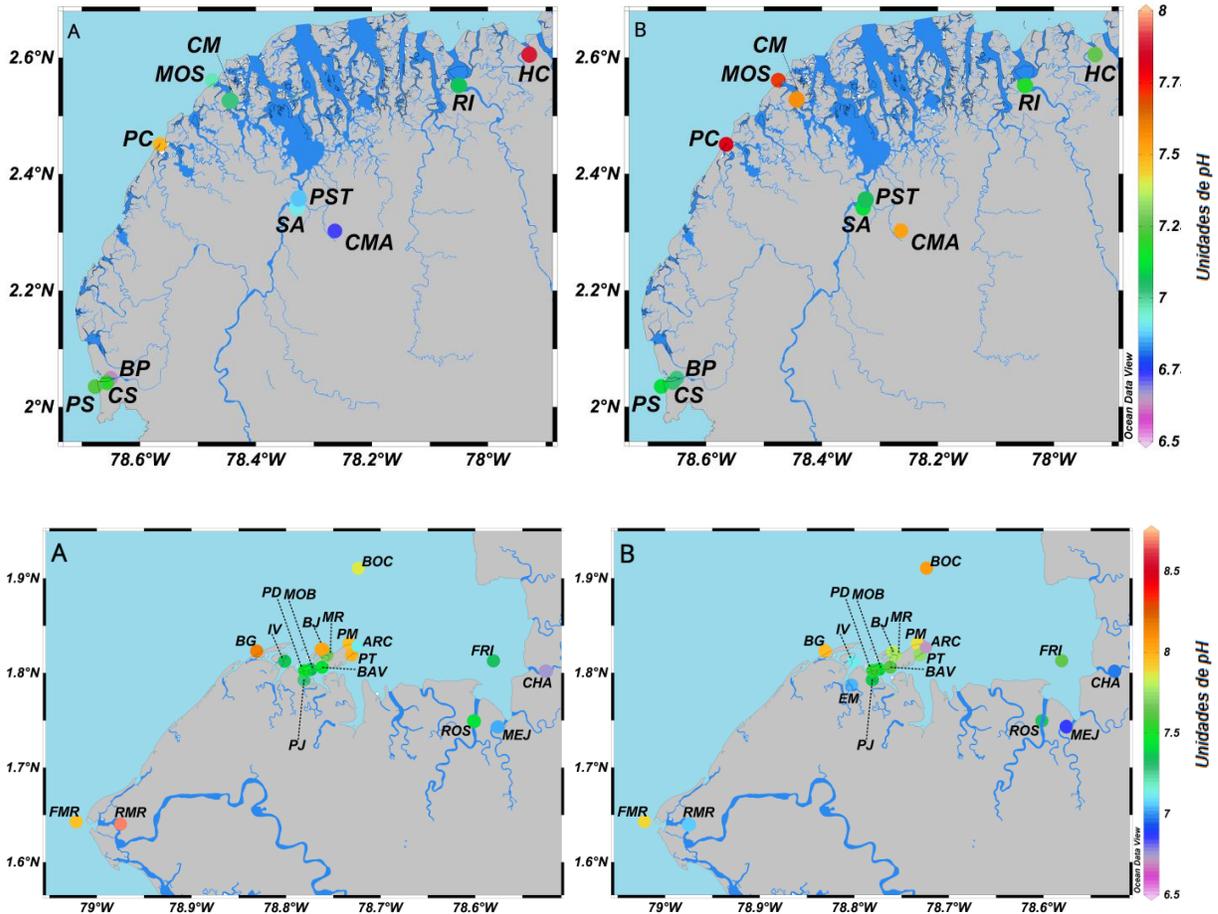


Figura 14.6. Valores de pH del agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en los muestreos de diciembre de 2016 (A) y mayo de 2017 (B). Estaciones: BOC: Bocana Tumaco, FRI: Frente a Ríos, CHA: R. Chagüí, ARC: Arco el Morro, PM: P. El Morro, MOB: EDS Mobil , PD: Pte el Pindo, IV: Isla Vaquería, BG: P. Bocagrande, PJ: El Pajal, BAV: EDS Bavaria, PT: Sociedad Portuaria, ROS: R. Rosario, MEJ: R. Mejicano, FMR: F. Mira, RMR: R. Mira, HC: Harinera Chanzará, RI: R. Iscuandé, CM: Canal Mosquera, MOS: P. Mosquera, PC: P. Pasacaballos, CMA: Canal Mosquera Antes, PST: Patianga+Satinga, SA: Satinga antes, BP: Brazo Patía, CS: Canal Salahonda, PS: P. Salahonda.

En la Figura 14.7 se presentan las mayores concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) que se registraron en diciembre de 2016 y mayo de 2017, los cuales oscilaron entre 10 y 235 mg/L. En el muestreo de diciembre de 2016 la mayor concentración se registró en la estación frente a Ríos (235 mg/L) en la zona Ensenada Tumaco, debido a que esta estación se ubica en un área donde desembocan los ríos Rosario, Chagüí y Mejicano. En el muestreo de mayo de 2017 en la zona de la Costa Norte se registraron las mayores concentraciones en las estaciones

del río Patía, el canal Salahonda donde la población ubicada en su ribera vierte sus residuos domésticos, y en la playa Salahonda que se encuentra bajo influencia de las aguas del río Patía y del canal Salahonda.

Comparando los resultados de SST con la referencia de clasificación de calidad de las aguas propuesta por [CONAGUA \(2015\)](#), el agua de las estaciones frente a ríos y Satinga antes descargas en diciembre de 2016, brazo Patía, canal Salahonda, Patianga+Satinga y Satinga antes descargas en mayo de 2017, se clasifica como contaminada. El agua de las demás estaciones, se clasifica entre aceptable y buena (Figura 14.7).

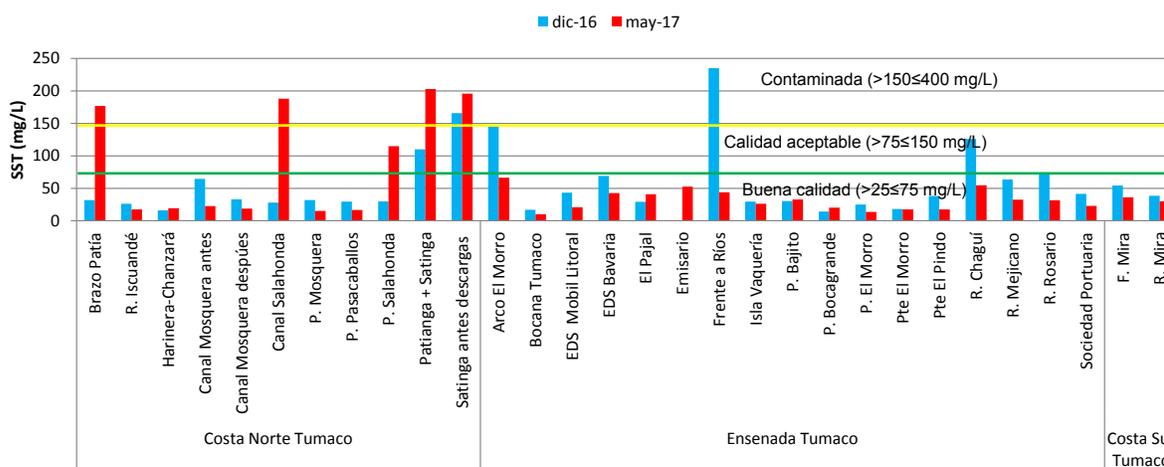


Figura 14.7. Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en los muestreos de diciembre de 2016 y mayo de 2017. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Históricamente en las estaciones de los ríos Patía, Satinga, Chagüí, Mejicano y Mira, y frente a Ríos, se han registrado concentraciones de SST por encima de 150 mg/L, clasificándolas como aguas contaminadas (>150≤400 mg/L) y fuertemente contaminadas (400 mg/L) de acuerdo con la referencia de [CONAGUA \(2015\)](#). Los mayores concentraciones de SST se registraron en las estaciones río Chagüí en el 2004 (795 mg/L), 2008 (297 mg/L) y 2012 (273 mg/L), frente a Ríos en el 2005 (727 mg/L), 2009 (487 mg/L) y 2012 (526 mg/L) y en el brazo Patía en 2006 (350 mg/L), 2007 (328 mg/L) y 2008 (541 mg/L).

En la Figura 14.8 se presentan las concentraciones de los nutrientes inorgánicos disueltos: amonio ($N-NH_4^+$), nitritos + nitratos ($N-NO_2^- + N-NO_3^-$) y ortofosfatos ($P-PO_4^{3-}$) en el agua superficial de las estaciones de muestreo REDCAM del departamento de Nariño, en los muestreos de diciembre de 2016 y mayo de 2017. Las mayores concentraciones de amonio ($N-NH_4^+$) se registraron en las estaciones Arco El Morro (302 y 1.296 $\mu g NH_4^+/L$ en diciembre 2016 y mayo 2017) y EDS Mobil Litoral (250 $\mu g N-NH_4^+/L$ en mayo de 2017; Figura 14.8a), en la zona de la Ensenada de Tumaco. En estas estaciones las altas concentraciones pueden asociarse a vertimientos de aguas residuales, ya que en el Arco El Morro en marea baja llegan las aguas residuales de las casas palafíticas de la isla el Morro, por medio del estero Los Tulicios; y en la EDS Mobil Litoral, se ubican viviendas palafíticas que vierten directamente sus residuos a la bahía de Tumaco. Históricamente los valores más elevados de amonio se registraron en el

2005 en la playa Pasacaballos ($212 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$), en el 2007 en el río Mira ($706 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$), en el 2008 en la Harinera-Chanzará ($208 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$), en el 2009 en Patianga+Satinga ($287 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$), brazo Patía ($255 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) y río Mejicano ($185 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$) y en 2010 y 2012 en el Arco El Morro (688 y $289 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{L}$ respectivamente; [INVEMAR, 2017a](#)). Estas altas concentraciones indican contaminación por vertimientos de aguas residuales y pueden generar problemas relacionados con la eutroficación que conllevan al detrimento de la calidad del agua ([Cárdenas y Sánchez, 2013](#)). Esta forma ionizada del amonio no tiene límite permisible para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces, marinas y estuarinas en normas nacionales ([MinSalud, 1984](#)), ni hay valores de referencia en guías internacionales ([EPA, 1976](#); [EPA, 1980](#); [CCME, 2010](#)).

Los nitritos + nitratos oscilaron entre $2,8$ y $2.836 \mu\text{g N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-/\text{L}$ (Figura 14.8b). La mayor concentración se registró en la estación Arco El Morro de la zona Ensenada de Tumaco, en el muestreo de mayo de 2017, el cual guarda relación con las elevadas concentraciones de amonio (Figura 14.8a) y ortofosfatos (Figura 14.8c). Estos nutrientes se asocian a vertimientos de aguas residuales, debido a que en el medio natural, las concentraciones no son tan elevadas. En la estación Arco el Morro históricamente los nitritos se han registrado en concentraciones entre $0,7$ y $26,2 \mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$ y los nitratos $<2,1$ y $28,3 \text{ N-NO}_3^-/\text{L}$. En la estación canal Salahonda de la zona Costa Norte, también se registraron concentraciones alrededor de los $200 \mu\text{g N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-/\text{L}$ en ambos muestreos, las aguas en esta estación también se ven afectada por vertimientos de aguas residuales de la población de Salahonda, quienes vierten directamente sus residuos en el canal.

Los ortofosfatos oscilaron entre $2,9 \mu\text{g/L}$ y $388 \mu\text{g de P-PO}_4^{-3}/\text{L}$, encontrándose los mayores valores en las estaciones Arco El Morro y EDS Mobil Litoral en mayo de 2017 y en el puente el Pindo, en diciembre de 2016 (Figura 14.8c). Al igual que los otros nutrientes, las concentraciones de ortofosfatos están asociadas a vertimientos de aguas residuales. Otras fuentes importantes de este nutriente y de los compuestos nitrogenados, son la escorrentía agrícola de las áreas de cultivo en las principales cuencas ([Escobar, 2002](#)), y el posible flujo desde el sedimento debido a la resuspensión por la dinámica y corrientes de las mareas altas (flujo) y bajas (reflujo) en la región. La concentración más elevada de ortofosfatos en los 17 años de monitoreo se registró en el río Iscuandé ($2.600 \mu\text{g de P-PO}_4^{-3}/\text{L}$) en el año 2006 y en el río Mira ($593 \mu\text{g de P-PO}_4^{-3}/\text{L}$) en el año 2011. En las demás estaciones, históricamente los ortofosfatos han oscilado entre $<2,4$ y $142 \mu\text{g de P-PO}_4^{-3}/\text{L}$ ([INVEMAR, 2017a](#)).

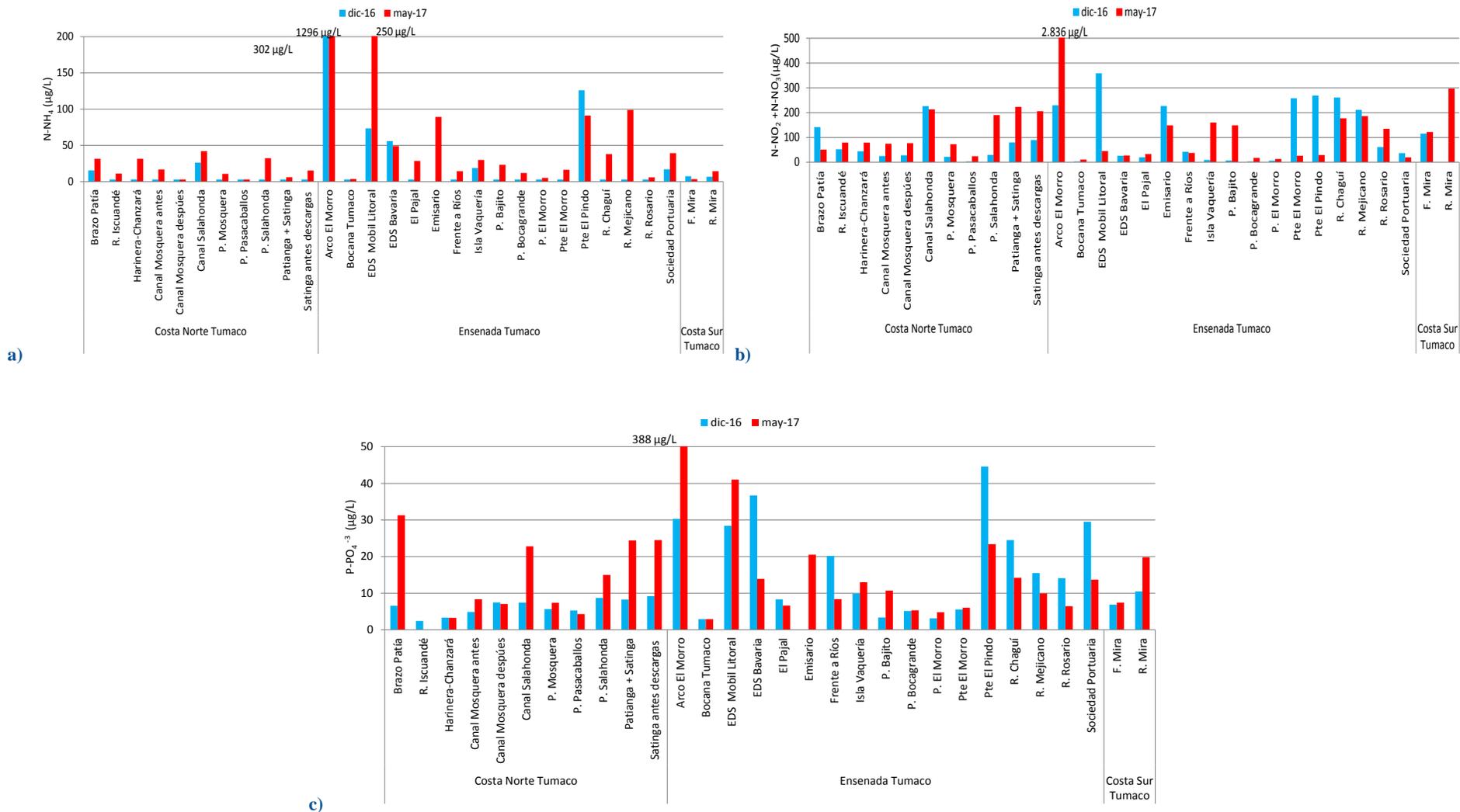


Figura 14.8. Concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitritos + nitratos (N-NO₂⁻ + N-NO₃⁻) y c) ortofosfatos (P-PO₄⁻³), en el agua superficial de las estaciones de muestreo REDCAM del departamento de Nariño, en los muestreos de diciembre de 2016 y mayo de 2017.

La calidad microbiológica del agua en las estaciones de muestreo, se evaluó con las concentraciones de coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE). Los coliformes oscilaron entre 49 y 1'600.000 NMP de CTT /100 mL; y 2 y 920.000 NMP de CTE/100 mL. En general, las concentraciones más elevadas de estos microorganismos se registraron en los muestreos de diciembre de 2016, en comparación con el muestreo de mayo de 2017 (Tabla 14.2). El 76% de las estaciones en los muestreos de diciembre de 2016 y mayo de 2017, los CTT y CTE en agua sobrepasaron los límites permisibles para contacto primario (natación y buceo), y el 50% de las estaciones sobrepasaron el límite permisible de CTT para contacto secundario (deportes náuticos y pesca) (Tabla 14.2). En la estación Arco El Morro, se registró una contaminación microbiológica alta en los tres muestreos realizados y de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984, las aguas de esta estación no fueron aptas para el uso recreativo por contacto primario y secundario (Tabla 14.2).

Tabla 14.2. Concentraciones de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en los muestreos de diciembre de 2016 y mayo de 2017. Los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y por contacto secundario se tomaron de MinSalud (1984). El rango histórico corresponde a los datos 2001-2016. No medido (-).

Zona	Estación	CTT (NMP/100 mL)				CTE (NMP/100 mL)			
		dic-16	may-17	Rango histórico (2001-2016)	Percentil 90	dic-16	may-17	Rango histórico (2001-2016)	Percentil 90
Costa Norte	Brazo Patía	4.900	16.000	230-185.960	17.250	1.700	2.200	130-24.000	6.630
	R. Iscuandé	-	14.000	1.375-17.000	16.000	-	9.400	615-16.000	4.500
	Harinera - Chanzará	2.200	1.300	255-80.550	37.500	680	780	135-80.100	9.000
	Canal Mosquera antes	7.900	9.400	-	-	3.300	9.400	-	-
	Canal Mosquera después	1.400	4.900	-	-	200	200	-	-
	Canal Salahonda	54.000	16.000	-	-	4.900	2.200	-	-
	P. Mosquera	350	170	20-9.000	1.793	17	49	1-5.000	1.570
	P. Pasacaballos	230	170	18-16.000	1.300	20	20	18-16.000	1.023
	P. Salahonda	790	9.200	45-43.520	18.150	220	490	20-21.300	16.000
	Patianga + Satinga	92.000	92.000	1.100-82.970	35.000	35.000	35.000	260-160.000	13.000
Satinga antes descargas	160.000	54.000	-	-	54.000	24.000			
Ensenada Tumaco	Arco El Morro	1.600.000	160.000	1.700-160.000	160.000	920.000	54.000	238-46.390	46.390
	Bocana Tumaco	49	120	18-16.000	5.795	5	2	5-16.000	2.865
	El Pajal	9.200	1.600.000	2.400-18.695	18.695	1.300	350.000	170-645	645
	Frente a Ríos	460	790	20-18.535	1.600	20	20	20-2.150	1.600
	P. Bajito	35.000	1.300	190-30.760	30.760	35.000	330	188-1.180	1.180
	P. Bocagrande	920	16.000	20-24.196	3.076	540	9.200	11-29.700	2.000
	P. El Morro	240	540	20-5.060	860	240	46	12-1.015	500
	Pte El Morro	9.200	2.800	540-7.794	7.794	9.200	2.800	5-1.421	1.421
	Pte El Pindo	240.000	240.000	78-206.855	160.000	49.000	79.000	78-22.000	16.000
	R. Chagüí	54.000	2.800	450-92.000	17.000	120	460	180-92.000	5.000
	R. Mejicano	35.000	4.900	93-61.910	9.400	780	200	80-13.000	4.900
R. Rosario	4.600	2.200	130-108.385	11.000	450	450	70-13.000	2.300	
Sociedad Portuaria	92.000	16.000	68-160.000	16.000	13.000	5.400	20-160.000	16.000	
Costa Sur	R. Mira	160.000	3.500	790-64.420	28.000	7.900	2.400	330-17.000	12.000
Límite permisible contacto primario		1.000				200			
Límite permisible contacto secundario		5.000				-			

Las concentraciones de enterococos fecales (EFE) en las estaciones de playa del departamento de Nariño se presentan en la Tabla 14.3. En el muestreo de diciembre de 2016, la mayoría de las playas presentaron bajas concentraciones de EFE, a excepción del Arco El Morro, en donde se registró la mayor concentración (2.000 UFC/100 mL), valor que superó el valor histórico y que representa un riesgo >10% de contraer enfermedades gastrointestinales agudas (EGI) y >3,9% de contraer enfermedades febriles agudas (ERFA), según la Organización Mundial de la Salud ([OMS, 2003](#)). En el muestreo de mayo de 2017, el Arco El Morro continuó con la probabilidad de riesgos de enfermedades para los usuarios de la piscina natural del Arco (Tabla 14.3). Las otras estaciones se registraron concentraciones menores de EFE con bajos riesgos de enfermedades EGI y ERFA.

Tabla 14.3. Enterococos fecales (EFE) medidos en las estaciones de playa de REDCAM Nariño en los muestreos de diciembre de 2016 y mayo de 2017, y el registro histórico 2001-2016. *valor de referencia de la OMS (2003) para el riesgo de contraer enfermedades Gastrointestinales (EGI) y Respiratoria Febril Aguda (ERFA) respectivamente. No medido (-).

Zona	Estación	EFE (UFC/100 mL)					
		dic-16	oct-17	Segundo semestre		Primer semestre	
				Rango histórico (2001-2016)	Percentil 90	Rango histórico (2001-2016)	Percentil 90
Costa Norte	P. Mosquera	10	1	<1-33,5	33,5	<1-51	51
	P. Pasacaballos	2	12	<1-32	32	<1-88	88
	P. Salahonda	38	45	<1-59	59	<1-170	170
Ensenada Tumaco	Arco El Morro	2000	190	68	**	<1-195	195
	P. Bajito	200	10	8,5	**	10,5-39	39
	P. Bocagrande	14	39	<1-12	12	<1-16	16
	P. El Morro	14	3	2,1-14	14	<1-75	75
*Valores de referencia OMS (2003)		≤40 UFC/100 mL, <1% de contraer EGI y <0,3% de contraer ERFA.					
		41–200 UFC/100 mL, 1–5% de EGI y 0,3-1,9% de ERFA.					
		201–500 UFC/100 mL, 5–10% de EGI y 1,9–3,9% de ERFA.					
		>500 UFC/100 mL, >10% de EGI y >3,9% de ERFA					

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) en los muestreos de diciembre de 2016 y mayo de 2017 oscilaron entre el límite de cuantificación del método utilizado en el LABCAM y 3,4 µg/L (Figura 14.9), las cuales no superaron la referencia para aguas costeras con contaminación baja (>5 <10 µg/L) y de aguas marinas contaminadas (>10 µg/L) (Figura 14.9) ([Atwood et al., 1987](#); [Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-González et al., 2004](#)). La presencia de HPDD se asocia al tráfico de lancha, actividades portuarias, vertimientos de aguas residuales y derrame de petróleo crudo ([INVEMAR, 2017b](#); [INVEMAR et al., 2017g](#)).

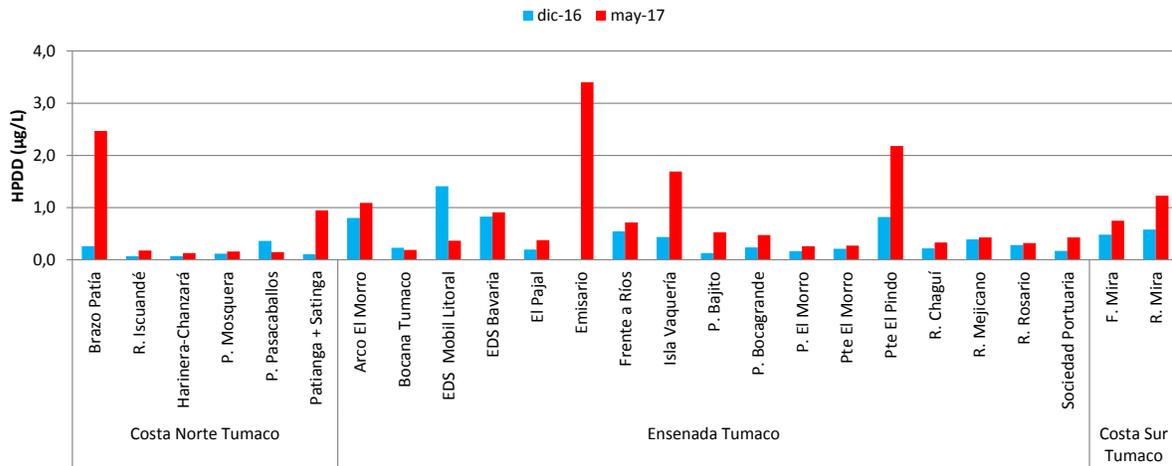


Figura 14.9. Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en los muestreos de diciembre de 2016 y mayo de 2017.

En las zonas de muestreo del departamento de Nariño, se registran constantemente HPDD en las aguas superficiales, debido a los derrames de petróleo crudo que se han presentado en el departamento y el derrame constante por goteo y rebosamiento de piscinas, donde se almacena el crudo que se extrae ilegalmente del oleoducto Transandino ([Semana, 2013](#); [El Tiempo, 2015](#); [INVEMAR et al., 2017](#)).

Entre los años 2001 y 2016, los registros de HPDD han estado por debajo de la referencia para contaminación baja ($<5 \mu\text{g/L}$) en la zona de la ensenada de Tumaco y en el 2002 las concentraciones de HPDD no superaron el valor de referencia de $10 \mu\text{g/L}$ para aguas contaminadas por hidrocarburos (Figura 14.10; [Atwood et al., 1987](#); [Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-González et al., 2004](#)). En la zona de Tumaco los HPDD históricamente han oscilado entre $0,23$ y $9,85 \mu\text{g/L}$, registrándose el valor más elevado en la estación puente El Pindo en junio de 2016 ([INVEMAR, 2017a](#)), cerca de esta estación se encuentran expendios de gasolina que podrían ser la fuente principal.

En el 2001 se registraron valores de HPDD por encima de los $10 \mu\text{g/L}$ en las zonas Costa Norte y Costa Sur (Figura 14.10). En la zona Costa Norte (Figura 14.10a), en el primer semestre del año 2001 se registraron concentraciones de 13 y $19,9 \mu\text{g}$ de HPDD/L en el río Iscuandé, que estaría asociado a un evento puntual de vertimientos de residuos de hidrocarburos ocurrido en esta zona, debido a que en años posteriores los niveles de HPDD se encontraron por debajo de $10 \mu\text{g/L}$.

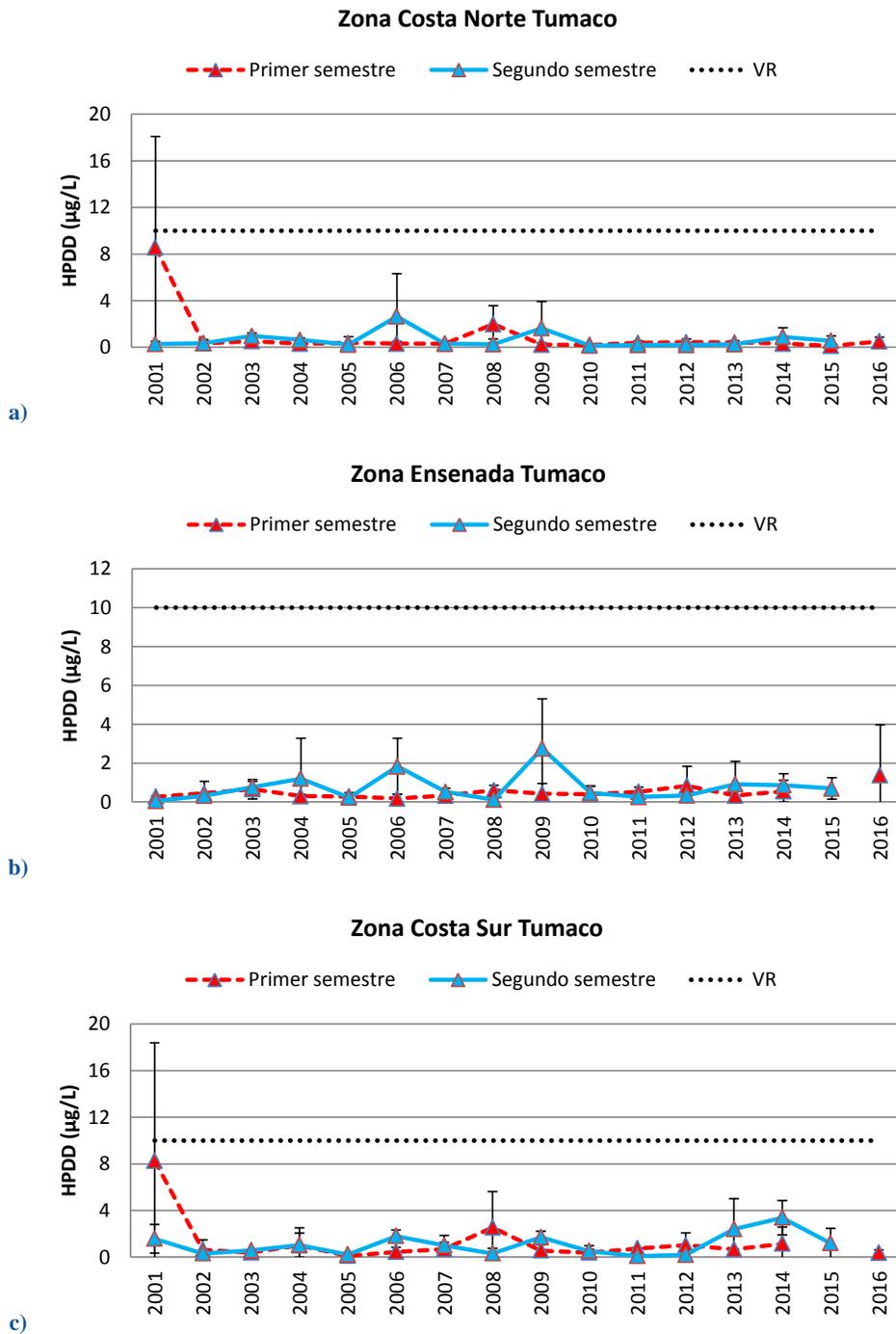


Figura 14.10. Promedio de las concentraciones de Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de criseno (HPDD) registradas entre los años 2001 y 2016 en las zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Nariño. Valores de referencia de >10 µg/L para aguas contaminadas (UNESCO, 1984).

En la zona Costa Sur también se registró en el primer semestre del año 2001 (Figura 14.10c), una concentración de 11,35 µg/L en el río Mira, lo cual está asociado a los residuos de hidrocarburos de los derrames ocurridos en el sector como el de Esmeralda, Ecuador ([El](#)

[Tiempo, 2001](#)). Desde el segundo semestre del 2001 hasta año 2016, las concentraciones de HPDD en el río Mira han estado por debajo de los 10 µg/L, a pesar de que fue afectado en junio de 2015 por el derrame de aproximadamente 10.000 barriles de crudo, incluso en julio de 2015, un mes después de ocurrido el derrame de crudo, los HPDD estuvieron en una concentración de 1,42 µg/L, condición puede atribuirse a la hidrodinámica y las características hidrofóbicas de los hidrocarburos ([INVEVAR, 2015](#); [INVEVAR et al., 2017](#)). No obstante, en el estudio realizado [INVEVAR et al. \(2017\)](#) encontraron en aguas de la cuenca alta concentraciones de 10 y 20 µg de HPDD/L y en los sedimentos de los manglares de las riberas del río Mira, presencia de crudo que pueden pasar a la columna de agua por perturbaciones físicas y condiciones fisicoquímicas entre otros ([Álvarez et al., 2003](#), pág. 243).

Los plaguicidas organoclorados y organofosforados medidos en el agua superficial en diciembre de 2016 y mayo de 2017 estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEVAR. Históricamente en los monitoreos realizados entre el 2001 y el 2016 se cuantificaron los plaguicidas organoclorados Aldrin, DDT, Heptacloro y Hexaclorociclohexano; así como el plaguicida organofosforado Metil Paratión ([INVEVAR, 2017a](#)). En primer semestre del año 2016 se cuantificaron los plaguicidas DDT y Metil Paratión en las estaciones frente a la sociedad portuaria (82,8 ng/L) y Patianga + Satinga (23,1 ng/L) respectivamente ([INVEVAR, 2017b](#)). El DDT registrado en frente de la Sociedad Portuaria evidencia el uso de este compuesto o su permanencia en el ambiente marino de Nariño en años posteriores a la restricción y prohibición de estos plaguicidas en el país (Decreto 305 de 1988).

Las concentraciones de metales pesados disueltos (Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni y Fe) en las aguas superficiales de las estaciones REDCAM en Nariño, se muestran en la Tabla 14.4. Durante los muestreos de diciembre de 2016 y mayo de 2017, el Cd y Ni disueltos en todas las estaciones, estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEVAR. De igual manera, en mayo de 2017 el Pb disuelto estuvo por debajo del límite de cuantificación del método y el Cu en el muestreo de diciembre de 2016. Cabe destacar que los límites de cuantificación del método utilizado, están por debajo de las referencias para efectos adversos en la biota acuática descritas en [Buchman \(2008\)](#) según el tipo de agua (Tabla 14.4).

Tabla 14.4. Metales pesados disueltos medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Nariño. Los valores de referencia para efecto crónico y agudo en la biota acuática corresponde a Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). No medidos (-). Las casillas sombreadas con color gris corresponden a estaciones fluviales, y las no sombreadas son estaciones marinas y estuarinas.

Zona	Estación	Cd (µg/L)		Pb (µg/L)		Cu (µg/L)		Zn (µg/L)		Ni (µg/L)		Fe (µg/L)	
		dic-16	may-17										
Costa Norte	Brazo Patía	<0,4	<0,4	<3,1	<3,1	<0,9	3,7	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	<4,7	139,4
	Patianga +Satinga	<0,4	<0,4	<3,1	<3,1	<0,9	2,3	19	<6,9	<1,0	<1,0	50	122,8
Ensenada Tumaco	Bocana Tumaco	<0,4	<0,4	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	-	<1,0	<4,7	6
	Emisario	-	<0,4	-	<3,1	-	<0,9	-	7,7	-	<1,0	-	107
	Frente a Ríos	<0,4	<0,4	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	7,6	13,3
	R. Chagüf	<0,4	<0,4	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	13	26,5

Zona	Estación	Cd (µg/L)		Pb (µg/L)		Cu (µg/L)		Zn (µg/L)		Ni (µg/L)		Fe (µg/L)	
		dic-16	may-17										
	R. Mejicano	<0,4	<0,4	4	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	14	12,3
	R. Rosario	<0,4	<0,4	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	5,6	13
	Sociedad Portuaria	<0,4	<0,4	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	9,8	14,6
Costa Sur	F. Mira	<0,4	<0,4	3,2	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	12	8
	R. Mira	<0,4	<0,4	<3,1	<3,1	<0,9	<0,9	<6,9	<6,9	<1,0	<1,0	30	35,6
Efectos crónicos agua marina		8,8		8,1		3,1		81		8,2		50	
Efectos agudo agua marina		40		210		4,8		90		74		300	
Efectos crónicos agua dulce		-		2,5		9		120		52		350	
Efectos agudo agua dulce		2		65		13		120		470		-	

El Pb se cuantificó en las estaciones río Mejicano (4 µg/L) y frente del río Mira (3,2 µg/L) en el muestreo de diciembre de 2016, sin embargo estas concentraciones no superaron las referencias para efectos crónicos a la biota en agua dulce y marina. Por otra parte, se registraron valores de 3,7 y 2,3 µg de Cu/L en las estaciones Brazo Patía y Patianga + Satinga respectivamente en mayo de 2017, los cuales no representan un riesgo para la biota acuática por estar debajo de la referencia para agua dulce. El Zn que se cuantificó en las estaciones Patianga + Satinga y en Emisario no sobrepasaron la referencia para efectos crónicos en agua dulce y marina (Tabla 14.4). El Fe en algunas estaciones osciló entre el límite de cuantificación de la técnica analítica (<4,7 µg Fe/L) y 139,4 µg Fe/L, concentraciones que estuvieron por debajo del valor de referencia para efectos crónicos en la biota acuática de aguas dulces (350 µg/L) y aguas marinas (50 µg/L) con excepción de la estación Emisario. Es importante continuar con el monitoreo de estos metales en esta estación para conocer la biodisponibilidad y complementar la evaluación del riesgo ambiental.

14.2.1 Calidad del agua de acuerdo con el ICAM_{PPF}

La aplicación del ICAM_{PPF} mostró que la calidad del agua superficial del 36% de las estaciones evaluadas en diciembre de 2016, fue adecuada, el 23% aceptable, el 27% inadecuada, el 9% pésima y 5% óptima (Figura 14.11a). Las estaciones en condiciones inadecuada y pésima (Arco El Morro y Puente El Pindo), responden a alta contaminación microbológica y elevadas concentraciones de nutrientes inorgánicos y de sólidos suspendidos y bajas de oxígeno disuelto, estos dos último en el caso de la condición pésima.

En mayo de 2017, aumentó el número de estaciones con aguas de calidad aceptable (27%) e inadecuada (41%), mientras que la calidad pésima se mantuvo (9%) y la adecuada disminuyó (23%) (Figura 14.11b). El Arco El Morro mantuvo su condición de pésima calidad del agua por la alta contaminación de coliformes termotolerantes y concentraciones elevadas de nutrientes provenientes de aguas servidas y baja de oxígeno disuelto.

En las estaciones con condición inadecuada y pésima calidad del agua, por ejemplo, el Arco el Morro, puente El Pindo, canal Mosquera, se sugiere continuar con el monitoreo e implementar un plan de contingencia y acciones de inversión para el tratamiento de las aguas residuales que

se están vertiendo a la zona marino-costera de Tumaco, para reducir los impactos en el recurso hídrico marino y costero del departamento.

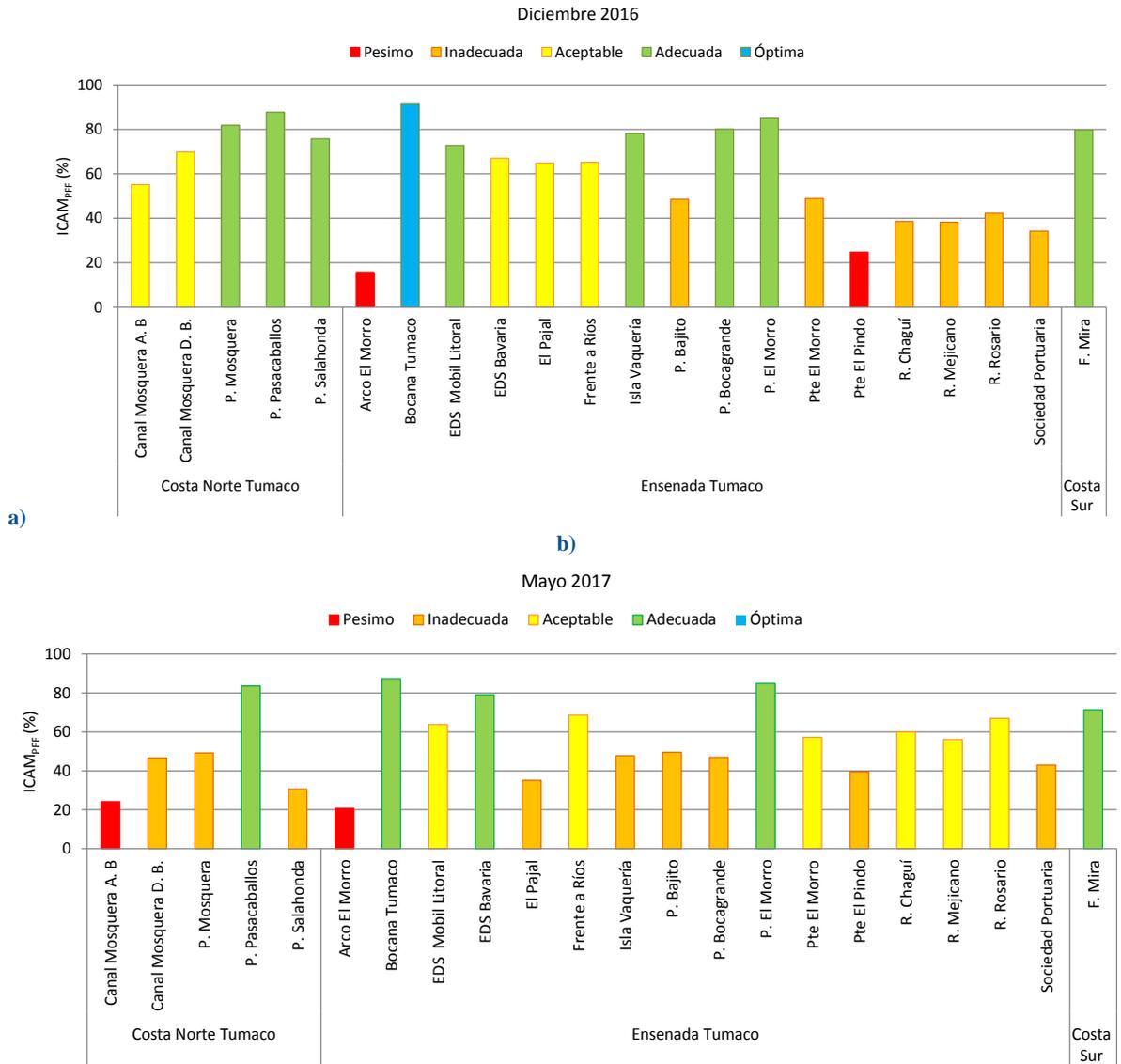


Figura 14.11. Calidad de las aguas en las estaciones marinas y estuarinas de la REDCAM en el departamento de Nariño en los muestreos de diciembre de 2016 (a) y mayo de 2017 (b), evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

En los últimos tres años, las zonas con mayor proporción de estaciones con calidad inadecuada ha sido la zona costa Norte, mientras que la Ensenada de Tumaco y la costa Sur son la de mayor estaciones con calidad aceptable y adecuada (Tabla 14.5).

Tabla 14.5. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en el las zonas del departamento de Nariño en el periodo desde el 2013 al 2015.

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2013	Costa Norte Tumaco			14%	86%	
	Ensenada Tumaco	8%	4%	23%	62%	4%
	Costa Sur Tumaco				100%	
2014	Costa Norte Tumaco		33%	33%	33%	
	Ensenada Tumaco		14%	24%	62%	
	Costa Sur Tumaco				100%	
2015	Costa Norte Tumaco		67%	33%		
	Ensenada Tumaco		31%	15%	54%	
	Costa Sur Tumaco			100%		

14.3 CALIDAD DE SEDIMENTOS

En la estación frente a Ríos, el contenido de materia orgánica oxidable (MO) en los sedimentos superficiales fue 22,3 mg/g en peso seco en el muestreo de diciembre de 2016 y de 22,5 mg/g en peso seco en el muestreo de mayo de 2017. En monitoreos anteriores en esta estación, se han registrado contenidos de MO de 119,4 mg/g en peso seco en el 2014 y de 17,8 mg/g en peso seco en el 2015. Esta variación del contenido está relacionado con los aportes de materia orgánica por parte de los ríos Rosario, Mejicano y Chagüí en donde se desarrollan manglares y existen asentamientos humanos que vierten sus aguas residuales a estos ríos, y por acción de las mareas y las corrientes marinas se puede resuspender la MO y ser transportada a otras áreas de la ensenada de Tumaco y del océano Pacífico ([Marcovecchio y Freije, 2013](#)).

En el muestreo de diciembre de 2016 se midieron hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno (HP) en las estaciones frente a Ríos (0,61 µg/g en peso seco), río Rosario (7,64 µg/g en peso seco), río Mira (8,66 µg/g en peso seco) y frente del río Mira (<0,07 µg/g en peso seco). Las concentraciones registradas estuvieron por debajo de 15 µg/g en peso seco, valor considerado como no contaminado ([Massoud et al., 1998](#)). Los registros históricos (Tabla 14.6) muestran que en la desembocadura del río Rosario, los sedimentos no presentan contaminación; en tanto que en estaciones como el río Mira en el 2016 y en el estero El Pajal en el 2006 el sedimento presentó una contaminación media (50-200 µg/g en peso seco) de acuerdo a la referencia propuesto por [Massoud et al. \(1998\)](#); y en los manglares del estero La Coba en el año 2017, los sedimentos se consideran altamente contaminados (>200 µg/g en peso seco; [Massoud et al., 1998](#)), valores que representan riesgo de efectos adversos para la biota acuática del manglar ([INVEMAR et al., 2017](#)).

Tabla 14.6. Registro histórico de hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno (HP) en sedimentos de algunas estaciones REDCAM en Nariño.

Estación	Registro histórico de HP en sedimentos	Valores de referencia (Massoud et al. 1998)
Frente a Ríos	0,25 µg/g p.s. en 2016 0,33 µg/g p.s. en 2015	<ul style="list-style-type: none"> Niveles naturales <15 µg/g p.s. Contaminación baja <50 µg/g p.s. Media contaminación >50-200 µg/g p.s. Altamente contaminación >200 µg/g p.s.
B. Rosario	0,16 µg/g p.s. en 2016 3,80 µg/g p.s. en 2015	
R. Mira	78,30 µg/g p.s. en 2016	
Esteros El Pajal	122 µg/g p.s. en 2006	

Estación	Registro histórico de HP en sedimentos	Valores de referencia (Massoud <i>et al.</i> 1998)
Manglar del estero Coba	846 µg/g p.s. en 2017	

En los muestreos de mayo de 2017 se midieron 16 compuestos de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en los sedimentos de las estaciones frente a ríos, río Mira, río Rosario y frente al río Mira, los cuales estuvieron por debajo de los límites de cuantificación del método utilizado por el LABCAM del INVEMAR.

En diciembre de 2016 y mayo de 2017, se midieron 41 compuestos de plaguicidas organoclorados y fosforados en los sedimentos superficiales de las estaciones frente a Ríos, río Rosario, río Mira y frente del río Mira. Todos los plaguicidas se encontraron por debajo de límite de cuantificación del método analítico utilizado en el LABCAM del INVEMAR. Cabe destacar que los límites de cuantificación están por debajo de las referencias de efectos probables en la biota acuática descritos en [Buchman \(2008\)](#).

Los metales pesados totales en peso seco (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, Fe y Hg) fueron medidos en la estación frente a Ríos en diciembre de 2016 y en mayo de 2017. Los resultados se presentan en la Tabla 6.6. Las concentraciones determinadas no sobrepasaron los valores de referencia para efectos probables –PEL descritos en [Buchman \(2008\)](#), sin embargo algunos metales como el Cr, Cu y Ni estuvieron por encima de la referencia de efecto umbral –TEL (Tabla 6.6) en el que los efectos adversos en la biota acuática ocurren ocasionalmente ([Long *et al.*, 1995](#)), lo cual indica que es importante continuar el monitoreo de estos metales y evaluar su biodisponibilidad.

Tabla 14.7. Metales pesados totales en los sedimentos estuarinos de la estación Frente a ríos en la zona de la Ensenada de Tumaco medidos en los muestreos de diciembre de 2016, mayo y octubre de 2017. Los valores de referencia para efectos probables se tomaron de Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008).

Metal	Unidad	Dic-2016	May-2017	Referencia TEL	Referencia PEL
Pb	µg/g	10,4	<4,00	30,2	112,0
Cd	µg/g	<0,50	<0,50	0,68	4,2
Cr	µg/g	49,2	66,6	52,3	160,0
Cu	µg/g	22,3	22,0	18,7	108,0
Zn	µg/g	73,1	77,9	124	271,0
Ni	µg/g	22,3	19,5	15,9	42,8
Fe	mg/g	48,8	48,6	-	-
Hg	ng/g	36,9	46,7	130	700,0

En el muestreo de mayo de 2017 se determinaron las concentraciones de Hg total en las estaciones frente del río Mira (51,0 ng/g), Brazo Patía (14,4 ng/g), playa Mosquera (9,83 ng/g) y Patianga + Satinga (31,7 ng/g), ninguna de las mediciones superó la referencia para efecto umbral –TEL en la biota de agua dulce (174 ng/g) y marina (130 ng/g) descritos en [Buchman \(2008\)](#), y no representa un riesgo alto para la biota acuática.

14.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ Los resultados del monitoreo indican que las estaciones Arco el Morro, Puente el Pindo, canal Mosquera y los ríos Chagüí, Mejicano y Rosario, son afectadas por vertimientos de aguas residuales sin tratamiento previo que aumenta las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal, de nutrientes inorgánicos disueltos y de sólidos suspendidos, y en algunos casos generan el descenso del oxígeno disuelto, con lo cual la calidad del agua para preservación de fauna y flora se encuentra entre inadecuadas y pésimas. Por lo tanto, se requieren acciones de inversión pública para el tratamiento de las aguas residuales de las poblaciones costeras, con el fin de reducir los impactos en el recurso hídrico marino y costero del departamento.
- ❖ El agua superficial de la zona costera del departamento de Nariño, no presentan contaminación por los metales Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn y Fe, ya que las concentraciones registradas están por debajo de los valores referenciados para efectos crónicos y agudos descritos en guías internacionales. En el sedimento, los niveles de Cr, Cu y Ni, estuvieron por encima de la referencia de efecto umbral en la biota acuática descrito por la NOAA, por lo cual se requiere dar continuidad en el monitoreo y evaluar la biodisponibilidad de estos metales.
- ❖ Si bien en los muestreos realizados en diciembre de 2016 y mayo de 2017 las aguas marinas y costeras en la mayoría de las estaciones REDCAM de Nariño, no mostraron niveles altos de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno en comparación con los valores de referencia, en las zonas Ensenada de Tumaco y Costa Sur existe contaminación por petróleo crudo derramado en el 2015, que con las precipitaciones, el lavado de los suelos y riberas del río Mira, aumenta las concentraciones de hidrocarburos en el agua, y representa una amenaza para los ecosistemas y las comunidades de la zona costera del departamento.
- ❖ En las estaciones REDCAM de Nariño, no se evidencia contaminación por residuos de plaguicidas en aguas, ni en sedimentos, ya que las concentraciones de estos compuestos están por debajo de los valores de referencia.

AVANCES EN EL PLAN DE ACCIÓN Y ESTRATEGIAS DE FORTALECIMIENTO DE LA REDCAM

Paola Sofía Obando-Madera, Ostin Garcés-Ordóñez, Mónica Rocío Bayona-Arenas y Daniel González



15. AVANCES ESTRATEGIAS DE FORTALECIMIENTO DE LA REDCAM

15.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN

Dentro de las actividades para la gestión del recurso hídrico marino-costero, y acorde al plan de acción para el fortalecimiento de la Red de Vigilancia para la Protección y Conservación de las Aguas Marinas y Costeras – REDCAM y con el fin de estar a la vanguardia frente a las tecnologías emergentes, desde el año 2016 el sistema de información de la REDCAM – SISCAM entró en un proceso de renovación tecnológica que implicó una integración de la información al sistema de soporte multitemático para el monitoreo ambiental (ARGOS), el cual permite una versátil adopción de los atributos funcionales de los datos de la REDCAM.

En el 2017 se realizó la migración de la información almacenada, la cual está en proceso de verificación, validación y ajustes. En el nuevo esquema de la base de datos, se estandarizaron e ingresaron los datos de los monitoreos realizados en los 12 departamentos costeros, lo cual es el soporte para las herramientas disponibles al público. Además se creó un nuevo módulo con indicadores de gestión y el portal con ingreso exclusivo para las CAR, donde cada una posee una cuenta y clave para acceder. Los indicadores de gestión de la información, presentan de forma general la cantidad de variables, registros de estaciones, cantidad de datos disponibles por tipo de variable analizadas para cada departamento.

Además, se llevó a cabo el proceso de renovación tecnológica del geovisor soporte de la REDCAM, mediante el cual se muestran los datos de forma dinámica e interactiva sobre mapas, aportando una dimensión y ubicación en el territorio marino costero. No obstante la cartografía dinámica se actualiza de forma simultánea con la carga de los datos al sistema, esta requiere un proceso de validación para la visualización final. El geovisor cuenta con nuevos módulos de acceso, como el de fuentes de contaminación al mar, las estaciones de monitoreo donde se visualizan las estaciones de muestreo, con las coordenadas, tipo de sustrato, cantidad de variables medidas, así como otra información cartográfica de interés y se tiene el vínculo para la conexión directa al servidor del Sistema de Información del Recurso Hídrico – SIRH.

A continuación se presentan los resultados más importantes de la gestión del Sistema de Información de la REDCAM - SISCAM

15.1.1 *Renovación tecnológica del Geovisor*

Se ha generado un nuevo Geovisor REDCAM, el cual otorga información actualizada en un esquema renovado que integra mayor información, con nuevas funcionalidades desarrolladas en lenguaje Java y Javascript, siguiendo la metodología adaptada al marco de trabajo SCRUM. Este nuevo Geovisor puede ser consultado en el enlace <http://buritaca.invemar.org.co/geovisorredcam/> en donde incluye los siguientes servicios:

Cartografía:

Se realizaron actualizaciones a los componentes espaciales del Geovisor (capas de cartografía base y temática), para brindar un mejor servicio. Para su construcción se utilizó el API JavaScript para Arcgis conectado al Servidor de Mapas, y se optó por utilizar la capa base “world Topographic Map” (Figura 15.1), ya que proporcionaba un mejor entorno gráfico y se ajustaba a las necesidades del geovisor.

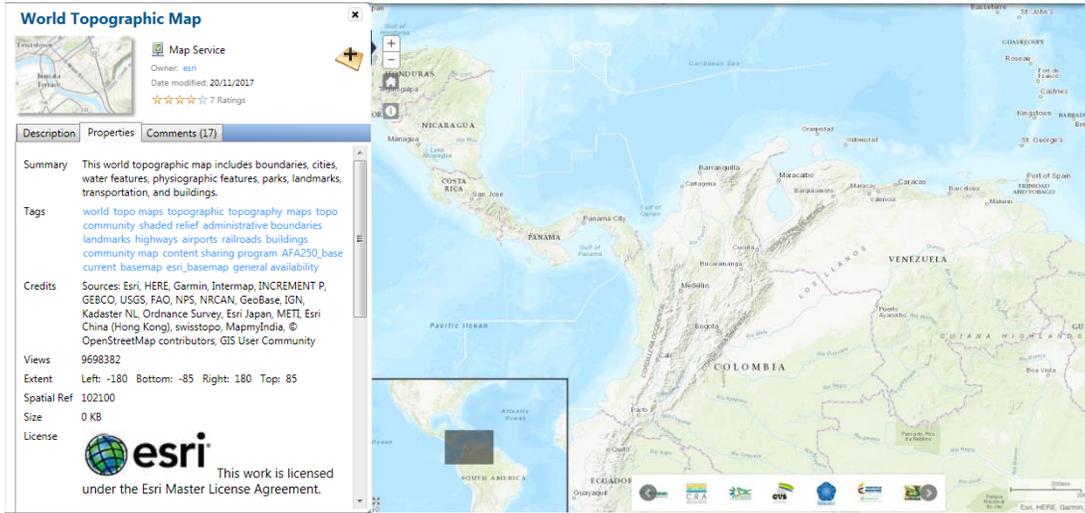


Figura 15.1. Capa base incluida en el geovisor REDCAM.

Módulo Estaciones:

Visualiza las estaciones de monitoreo de la REDCAM, tanto de forma tabular como geoespacialmente. La herramienta muestra atributos relevantes de las estaciones de muestreo como la latitud, longitud, proyecto, sustrato (agua o sedimento), nombre e identificador de las estaciones y se puede filtrar por atributo de manera interactiva. (Figura 15.2).

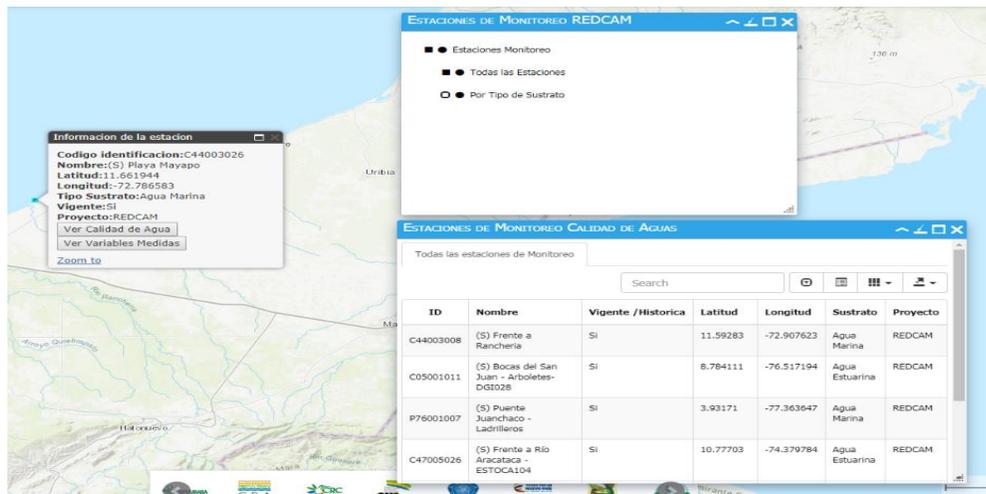


Figura 15.2. Visualización de las estaciones REDCAM de forma tabular y por geolocalización.

Módulo resultado ICAM:

Contiene el servicio de cálculo de indicador por regiones (Figura 15.3) y el cálculo por estaciones para cada año y semestre (Figura 15.4). La herramienta grafica el valor de cada uno de las variables que influyen sobre el valor del indicador y una serie de tiempo que permite ver el histórico del valor del indicador de forma semestral.

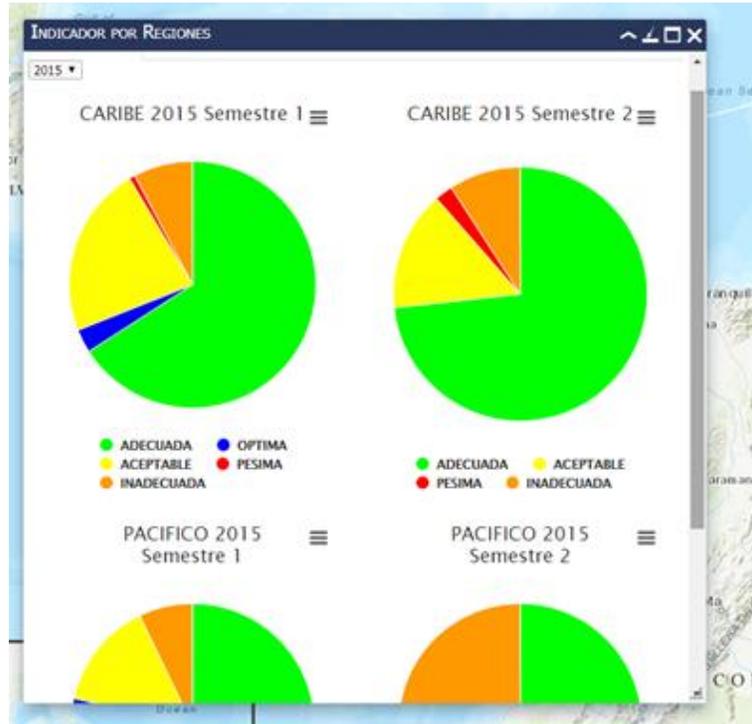


Figura 15.3. Indicador de Calidad de Agua por regiones



Figura 15.4. Variables que contribuyen al cálculo del indicador de Agua y filtro de Indicador por año y semestre

Módulo Fuentes de Contaminación.

Este módulo permite geo-localizar las fuentes de contaminación, tanto para el Pacífico como para el Caribe que han sido identificadas a partir de información primaria y secundaria. Es un módulo que continuará en crecimiento, en donde se incluirá el listado casos de proyectos que caracterizan fuentes de contaminación de ciertas áreas del país. Para esta versión se incluyó el caso de “San Andrés” (Figura 15.5)

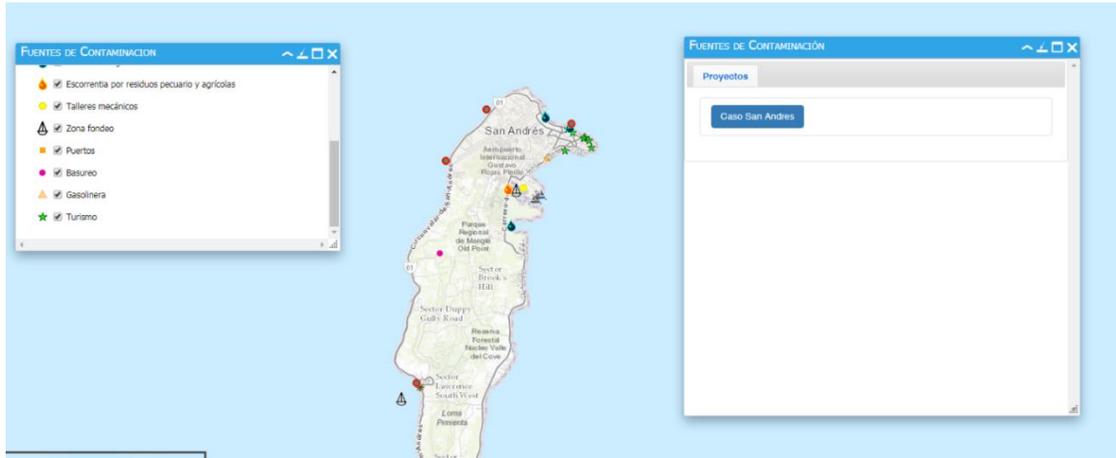


Figura 15.5. Servicio caracterización fuentes de contaminación y la caracterización fuentes contaminación caso San Andrés

Geoservicios conectados al Geovisor

Esta nueva versión incluye servicios adicionales como los vertimientos de aguas residuales provenientes del Sistema de Recursos Hídricos (SIRH) del IDEAM.

Al nuevo geovisor (Figura 15.6), se puede acceder a través del enlace [URL:http://buritaca.invemar.org.co/geovisorredcam](http://buritaca.invemar.org.co/geovisorredcam).

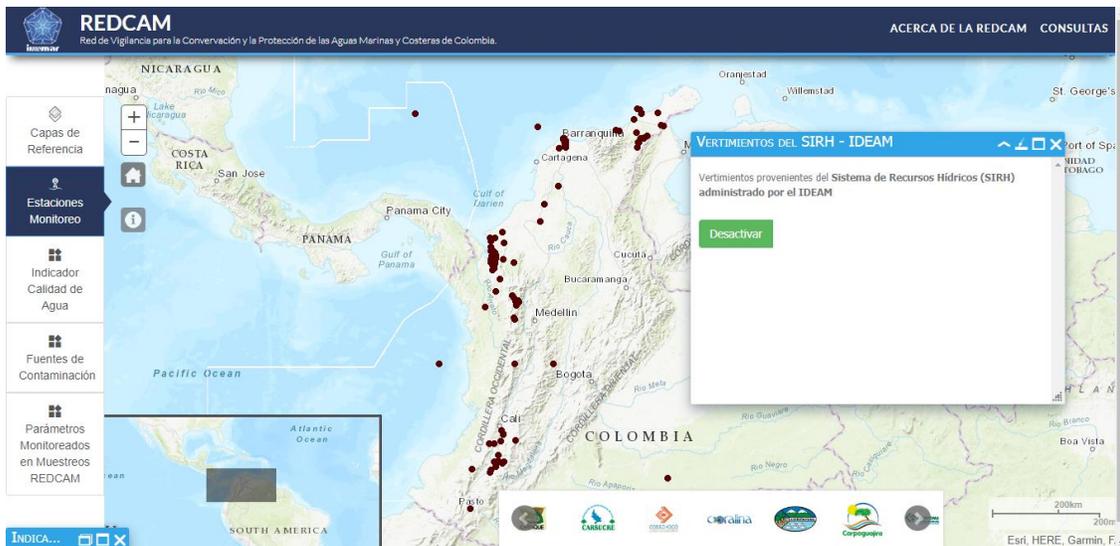


Figura 15.6. Consulta Vertimientos aguas residuales en el Geovisor REDCAM

15.1.2 Actualización de la base de datos

En el nuevo esquema de la base de datos, fueron estandarizados e ingresados los datos de los monitoreos, y se llevó a cabo el procedimiento de migración de los datos que estaban almacenados en la arquitectura anterior, lo cual al ser una actividad permanente está en un proceso de verificación, validación y ajustes. Adicionalmente como fortalecimiento del sistema, se crearon 32 nuevas variables asociadas a los compuestos de hidrocarburos en sedimentos y plaguicidas, 25 nuevas estaciones y se almacenaron los datos de nuevos proyectos ejecutados entre 2016 y 2017 como el Sector de las Ánimas, Calamidad, Resolución MADS (información de Mercurio y Bahía de Cartagena), lo cual permite mantener integrados, organizados y centralizados todos los datos en el repositorio principal de información sobre la Calidad Ambiental Marina.

En la Tabla 15.1 y Figura 15.7 se muestra la cantidad de registros almacenados desde el año 2001 a diciembre 2017, actualizado con los registros de los monitoreos realizados en el segundo semestre 2016, primer semestre 2017, y con algunos datos medidos durante el segundo semestre 2017; lo cual representó un incremento del 12 %, para un total de más de 496.919 registros en 19.896 muestras analizadas entre los años 1993 y 2017.

Tabla 15.1. Crecimiento del Sistema de Información SISCAM de la REDCAM a diciembre de 2017

Año de operación	Estaciones	Muestras analizadas	Registros almacenados	Variabes
2001	276	361	4515	42
2002	412	1376	18.114	53
2003	779	5164	109.230	56
2004	826	5974	122.590	56
2005	826	6860	137.042	57
2006	976	8595	164.173	57
2007	976	9229	173.734	57
2008	981	10324	191.230	57
2009	981	11282	277.564	57
2010	999	13198	222.684	101
2011	1008	13293	239.873	101
2012	1028	14379	264.311	102
2013	1032	15823	285.846	104
2014	1051	17145	383.279	105
2015	1084	18164	401.750	105
2016	1104	19568	445.514	105
2017	1129	19896	496.919	137



Figura 15.7. Cantidad de registros almacenados en el sistema SISCAM de la REDCAM

15.2 CAPACITACIÓN Y FORTALECIMIENTO CAR COSTERAS

15.2.1 *Curso-taller REDCAM 2017: Calidad de Sedimentos Marinos*

En el marco de la REDCAM, se llevó a cabo el *Curso-Taller Calidad Ambiental Marina*, en la ciudad de Santa Marta, del 19 al 21 de septiembre de 2017. En este curso se capacitaron 39 profesionales de las CAR con ingerencia costera del Caribe y Pacífico colombianos, de los centros de investigación y Capitanía de Puertos de la Dirección General Marítima -DIMAR, de MINAMBIENTE, del Departamento Distrital de Sostenibilidad Ambiental de Santa Marta - DADSA, de Parques Nacionales Naturales de Colombia, de las Universidades Jorge Tadeo Lozano y del Magdalena, del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, e investigadores del INVEMAR (Figura 15.8).



Figura 15.8. Participantes del Curso Taller REDCAM 2017.

Este curso-taller tuvo como objetivo principal conocer las bases teóricas sobre la calidad de sedimentos marinos, los métodos para el muestreo de contaminantes orgánicos e inorgánicos y el análisis de resultados, con aplicaciones en casos prácticos para fortalecer la gestión ambiental y las capacidades técnicas de las CAR costeras y otras entidades ambientales competentes en las zonas marinas y costeras. Durante el desarrollo del curso se abordaron temáticas como avances y retos en el monitoreo y normatividad de sedimentos marinos en Colombia, muestreo y análisis de laboratorio y aplicación de la evaluación del riesgo ecológico por contaminación en sedimentos.

15.2.2 *Curso-taller de Entrenamiento sobre Muestreo y Análisis de Microplásticos en Agua Marina*

El Curso taller de entrenamiento sobre muestreo y análisis de microplásticos en agua marina se desarrolló entre los días 05 y 07 de julio de 2017, en la sede principal del INVEMAR, ubicada en Santa Marta, y tuvo como objetivo principal conocer las bases teóricas sobre la contaminación por microplásticos, y los métodos para el muestreo y análisis de estos contaminantes en el ambiente marino, con aplicaciones en casos prácticos. El curso fue dictado por el Dr. Mauricio Urbina, de la Universidad de Concepción de Chile y se capacitaron 28 profesionales de las CAR costeras, del MADS, de los Centros de Investigación de la Dirección General Marítima (CIOH Caribe y Pacífico), Parques Nacionales Naturales, y personal del INVEMAR (Figura 15.9). Con este curso se pretende fortalecer la gestión ambiental y las capacidades técnicas de las CAR costeras y otras entidades ambientales competentes en las zonas marinas y costeras para integrar esta variable en el programa de monitoreo REDCAM.



Figura 15.9. Participantes del Curso Taller de Entrenamiento en muestreo y análisis de Microplásticos 2016.

15.2.3 *Entrenamiento del personal del Laboratorio Ambiental de CORPOGUAJIRA, en Validación de técnicas microbiológicas y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas*

Entre los días 27 y 31 de marzo y entre el 05 y 08 de junio de 2017, se llevó a cabo el entrenamiento en Validación de los Métodos SM 9221B-E y SM 9222 H para la determinación de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, por las técnicas Fermentación por Tubos Múltiples y Filtración por Membrana, en las instalaciones del Laboratorio Ambiental de CORPOGUAJIRA. Esta capacitación fue dirigida por la

microbióloga e investigadora del Programa Calidad Ambiental Marina, Tania Córdoba. En el entrenamiento se construyó el plan de validación, se realizó el montaje de estándares y muestras adicionadas, se estableció un banco de referencia de *E. coli* y enterococos fecales y se realizaron ensayos y lectura de resultados. Adicionalmente, se revisaron los procedimientos analíticos de las dos metodologías evaluadas y el manejo de cepas de referencia. A partir de estas revisiones se recomendó la implementación de controles de calidad descritos en el Standard Methods (Figura 15.10).



Figura 15.10. Actividades desarrolladas en el entrenamiento de Validación de métodos microbiológicos.

Por otra parte, entre los días del 13 al 16 de marzo de 2017, se realizó el entrenamiento de dos funcionarios de la Corporación en la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, en las instalaciones de la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR, en Santa Marta. Esta capacitación tuvo como objetivo generar la capacidad técnica para los análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos, plaguicidas organoclorados y plaguicidas organofosforados en ecosistemas marino costeros. Las temáticas abordadas fueron fundamentos de cromatografía de gases y empleo de diferentes detectores, toma, preservación y almacenamiento de muestras de agua y sedimento marino, extracción y purificación de muestras, y lectura e interpretación de resultados (Figura 15.11).



Figura 15.11. Actividades de entrenamiento en cromatografía a personal de CORPOGUAJIRA.

15.2.4 *Apoyo en la validación de la técnica de tubos múltiples para análisis de variables microbiológicas al Laboratorio ambiental de CARDIQUE*

Durante el 1 y 2 de junio de 2017, se realizó el apoyo técnico y documental a CARDIQUE, para iniciar la validación de la técnica tubos múltiples en el laboratorio, método SM 9221 B-E. El apoyo consistió en capacitar a un funcionario de la corporación en el montaje de validaciones microbiológicas, mediante la revisión de los procedimientos del método, los criterios de validación, controles de calidad aplicados, cartas de control y manejo de las cepas de referencia. Se realizaron ejercicios prácticos para la preparación y montaje de muestras y estándares.

15.2.5 *Apoyo a la implementación de técnicas analíticas de nutrientes inorgánicos disueltos al laboratorio de CARSUCRE*

Entre el 11 y 15 de septiembre del 2017, una funcionaria de CARSUCRE realizó una estancia de entrenamiento en las instalaciones LABCAM del INVEMAR, en la ciudad de Santa Marta, con el propósito de aprender sobre las técnicas analíticas de espectrofotometría visible. Durante la visita se realizaron las siguientes actividades de entrenamiento: i) revisión de procedimientos implementados en el LABCAM para la determinación de nutrientes (nitritos, nitratos, amonio y fosfatos); ii) montaje de estándares y muestras reales de cada uno de los mensurandos y iii) revisión de requerimientos básicos para la validación de los métodos. Las sesiones prácticas se realizaron en el área de fisicoquímica, donde los investigadores del INVEMAR explicaron en detalle cada uno de los procedimientos y los controles de calidad analítica necesarios para cada ensayo (Figura 15.12).



Figura 15.12. Actividades de entrenamiento en técnicas de espectrometría visible. Lectura de espectrofotómetro (a y b), equipo de capacitación (c), montaje de muestra y explicación de métodos (d, e y f).

15.2.6 *Curso de Entrenamiento en muestreo de aguas y sedimentos marinos, y gestión de la información REDCAM, dirigido a funcionarios de CORPOURABÁ*

Doce funcionarios de CORPOURABÁ fueron capacitados en la toma y preservación de muestras de agua y sedimento marino, así como en el manejo de la información del monitoreo REDCAM en el *Curso de Entrenamiento en muestreo de aguas y sedimentos marinos, y gestión de la información REDCAM*, realizado en las instalaciones de la Corporación, en Apartadó, entre los días 30 y 31 de octubre de 2017. En este curso se trataron aspectos teóricos y prácticos en una salida de campo, sobre técnicas de muestreo para aguas y sedimentos marinos y los controles de calidad. Adicionalmente se mostró el sistema de Información de la REDCAM y sus aplicaciones con datos para el reporte de resultados de aguas y sedimentos (Figura 15.13).



Figura 15.13. Curso de entrenamiento en muestreo a personal de CORPOURABÁ.

15.2.7 *Taller de capacitación en manejo de los sistemas de información articulados en el SIAM y REDCAM, para funcionarios de la C.R.A.*

El día 20 de octubre de 2017, en las instalaciones de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico - C.R.A. en Barranquilla, se realizó el taller de capacitación en Manejo de los sistemas de información articulados en el SIAM y la plataforma REDCAM. En el evento se mostraron las funcionalidades del SIAM, los módulos interactivos y el Geovisor de la plataforma REDCAM y se hicieron aplicaciones y ejercicios dinámicos de interacción con las herramientas web (Figura 15.14).



Figura 15.14. Taller de manejo de sistemas de información del SIAM y REDCAM en la C.R.A.

15.2.8 *Taller de capacitación sobre manejo y análisis estadístico de datos de calidad de agua de la REDCAM, para funcionarios de CARSUCRE*

El personal técnico del Laboratorio de Calidad Ambiental Morrosquillo de CARSUCRE fue capacitado en el manejo de bases de datos, tablas dinámicas y manejo y análisis estadísticos en el software InfoStat aplicados a los datos de calidad de agua marino costeras de la REDCAM. Esta capacitación se llevó a cabo el 10 de diciembre de 2017, en las instalaciones de la Corporación, en Sincelejo (Figura 15.15).

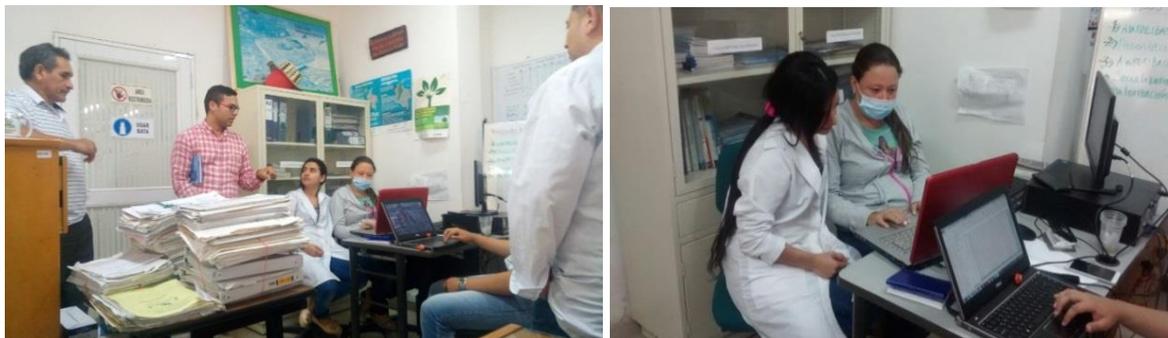


Figura 15.15. Taller de manejo estadístico de datos de la REDCAM en las instalaciones de la Corporación.

15.2.9 *Auditoria interna al Laboratorio Calidad Ambiental Morrosquillo de CARSUCRE y al Laboratorio Calidad Ambiental de CORPOGUAJIRA*

Dos auditores en la norma ISO17025:2005 del LABCAM de INVEMAR realizaron una auditoría interna en los laboratorios de CARSUCRE y CORPOGUAJIRA, para aumentar y mantener el alcance de la acreditación. Estas auditorías se realizaron los días de 01 al 03 de noviembre en CARSUCRE y del 11 al 13 de diciembre en CORPOGUAJIRA (Figura 15.16).

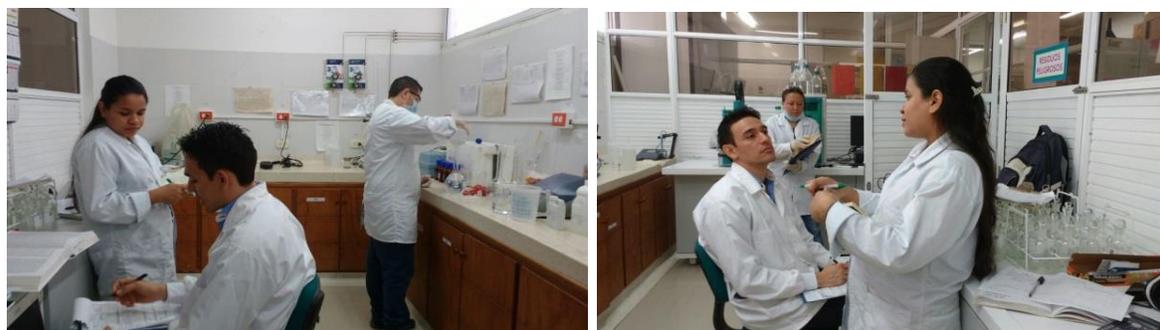


Figura 15.16. Actividades de la auditoria interna en el laboratorio de CARSUCRE.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Aguilera, M. 2005. Documentos de trabajo sobre la Economía Regional: La Economía del departamento de Sucre: Ganadería y Sector Público. Recuperado en 3 de febrero de 2018, de: <http://banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-63-VE.pdf>
- Alcaldía de Bahía Solano. 2017. Información sobre el manejo de residuos de la población y actividades productivas en el municipio de Bahía Solano en oficio No. 234 del 21 de julio 2017.
- Alcaldía de Litoral Del San Juan. 2011. Informe Ambiental 2011. Disponible en: <http://litoraldelsanjuan-choco.gov.co/apc-aa-files/30386365383637393939336165653732/infor-me-ambiental-2011.pdf> (con acceso el 03/05/2018).
- Alcaldía de Nuquí. 2012. Estrategia municipal de respuesta a emergencias: comunidades e instituciones coordinadas y preparadas para responder a desastres en el municipio de Nuquí. Proyecto PIDECHO VII, Unión Europea. 144 p.
- Alcaldía de Nuquí. 2016. Plan de desarrollo municipal 2016-2019. Acuerdo No. 5 de 2016, por medio del cual se adopta el plan de desarrollo municipal “caminemos juntos por el Nuquí que queremos” para el periodo 2016 – 2019. Nuquí, 93 p.
- Alcaldía de Unguía. 2017. Información sobre el manejo de residuos de la población y actividades productivas en el municipio de Unguía en oficio No. 891680.196-4 del 01 de agosto de 2017.
- Alcaldía municipio San Juan de Urabá. 2016. Plan de desarrollo departamental 2016-2019 San Juan de Urabá. 2016., Antioquia. 215p
- Allan, J. y M. Castillo, M. 2007. *Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters*. Springer. Second edition. 436 p.
- Alonso, A. 2005. Valoración de la degradación ambiental y efectos ecotoxicológicos sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. Doctoral Disertación, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares (Madrid), España.
- 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., Pineda, P., Olivero, J., González, H 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.

- Álvarez, P., F. Calvo, J. Rodríguez y P. Ramos (Eds). 2003. Residuos: alternativas de gestión. Ediciones Universidad de Salamanca, España. 261 p.
- Álvarez-León, R., J. Aguilera, C. Andrade y P. Nowak. 1995. Caracterización General de la zona de surgencia en La Guajira Colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cien.*, 19(75):679-694
- Amaral Kehrig, H. do, Malm, O., Akagi, H., Guimarães, J. R., & Torres, J. P. M. 1998. Methylmercury in fish and hair samples from the Balbina Reservoir, Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 77(2), 84-90.
- Anderson, D., P. Glibert y J. Burkholder. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition and consequences. *Estuaries*, 25 (4):704-726.
- Andrade, C. A. 2000. Circulation and variability of the Colombian basin in the Caribbean Sea, tesis presentada para optar al título de Doctor en Filosofía de la Universidad de Gales. Menai Bridge, Gales. 223 p.
- Andrade, C., E. Barton y C. Mooers. 2003. Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean Coast. *Journal of Geophysical Research* 108: 1-11.
- ANH – Agencia Nacional de Hidrocarburos y PNUD – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2014. Diagnóstico socioeconómico de La Guajira. 102 p.
- ANM- Agencia Nacional de Minería. 2016. Hablando de minería en el Valle del Cauca. Disponible en línea en: [https://www.anm.gov.co/?q=hablando_de_mineria_en_el_valle_del Cauca_%20boletin_\(con acceso el 9 de mayo de 2018\)](https://www.anm.gov.co/?q=hablando_de_mineria_en_el_valle_del Cauca_%20boletin_(con%20acceso%20el%209%20de%20mayo%20de%202018)).
- APHA – American Public Health Association, AWWA – American Water Works Association y WEF – Water Environment Federation. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. United States of America. 1325 p.
- Arias Espana, V.A., A.R. Rodriguez Pinilla, P. Barros y R. Naidu. 2018. Contaminated land in Colombia: A critical review of current status and future approach for the management of contaminated sites. *Sciencid of the Total Environmental* 618. 199-209Pp.
- ATSDR – Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades. 1997. Endrina. CAS#: 72-20-8. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU, División de Toxicología y Medicina Ambiental. 2 p. Disponible desde internet en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts89.pdf (con acceso el 21 de abril de 2017).
- Atwood, D.K., F.J. Burton, J.E. Corredor, G. Harvey, A. Mata-Jimenez, A. Vásquez-Botello and A. Wade. 1987. Results of the CARIPOL Petroleum Pollution Monitoring Project in the Wider Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 18(10): 540-548.
- Barrantes, K., L.M. Chacón, M. Solano y R. Achí. 2013. Contaminación fecal del agua superficial de la microcuenca del río Purires, Costa Rica, 2010-2011. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 33: 40-45.
- Bastidas-Salamanca, M.L. y A. Ordóñez-Zúñiga. 2017. Capítulo 8 Región 7: Golfo de Morrosquillo (126-137). En Ricaurte-Villota, C y M.L Bastidas Salamanca (Eds).

- Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés (INVEMAR). Serie de publicaciones especiales de INVEMAR #14. Santa Marta, Colombia 180 p.
- Bernal G., G. Poveda, P. Roldán y C. Andrade. 2006. Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la Costa Caribe Colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 30 (115): 195-208. ISSN 0370-3908.
- Betancourt Portela, J., J. Sánchez Díazgranados, L. Mejía-Ladino y J. Cantera Kintz. 2011. Calidad de las aguas superficiales de bahía Málaga, Pacífico colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 16 (2), 175-192.
- Blanco-Libreros, J.F. 2016. Cambios globales en los manglares del golfo de Urabá (Colombia): entre la cambiante línea costera y la frontera agropecuaria en expansión. *Actu. Biol.*, 38(104): 53-70.
- Blanco-Libreros, J.F., A. Taborda-Marín, V. Amortegui-Torres, A. Arroyave-Rincón, A. Sandoval, E. Estrada, J. Leal-Flórez, J.G. Vásquez y A. Vivas. 2013. Deforestación y sedimentación en los manglares del golfo de Urabá: Síntesis de los impactos sobre la fauna macrobentónicos e íctica en el delta del río Turbo. *Gestión y Ambiente*, 16 (2): 19-36.
- Bonilla, J.P., J.E. Peinado, M.A. Urdaneta y E. Carrascal. 2000. Informe Nacional sobre el Uso y Manejo de Plaguicidas en Colombia, Tendiente a Identificar y Proponer Alternativas para Reducir el Esgurrimiento de Plaguicidas al Mar Caribe. Ministerio del Medio Ambiente, Dirección General Ambiental Sectorial. Proyecto PNUMA//UCR/CAR Global Environment Facility (Informe Final) Bogotá, D.C. 60p.
- Breitburg, D. 2002. Effects of hypoxia, and the balance between hypoxia and enrichment, on coastal fishes and fisheries. *Estuaries* 25:767-781.
- Buchman, M.F. 2008. Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs). NOAA OR&R report 08-1 Seattle WA, office of response and restoration division, national oceanic and atmospheric administration. 34 p.
- BVSDE. 2003. Metil Paration. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/cd-gdwq/docs_quimicos/Metil%20paration.pdf (con acceso el 08/05/2018).
- Calva, L., y R. Torres. 2008. Macroalgas y pastos marinos útiles bioindicadores de contaminación por hidrocarburos fósiles en sistemas acuáticos. *Contactos*, 68, 38-46.
- Camargo, J. y A. Alonso. 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32: 831-849.
- 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.
- Cañón, M.L. 2001. Análisis de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) a Partir de Imágenes NOAA/AVHRR Para el Caribe Colombiano Entre los 70° 30' – 78°30'W y 14°30' y 7°30' N. IX Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. San Andrés Isla, Colombia.

- Cárdenas, G. y I. Sánchez. 2013. Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para la preservar el ambiente y la salud pública. *Rev. Univ. Salud*, 15 (1): 72-88.
- Castaño, C. 2002. *Golfos y Bahías de Colombia*, Serie especial de colección ecológica. Bogota, D. C.: Banco de Occidente.
- CCCCP – Centro de investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. 2012. *Panorama de la contaminación marina del Pacífico Colombiano 2005-2010*. Ed. DIMAR. Serie de Publicaciones Especiales. Vol. 7, San Andrés de Tumaco. 158 p.
- CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. 2010. *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Ammonia*. In: *Canadian environmental quality guidelines, 1999*, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Chigbu, P., S. Gordon, T. Strange. 2005. Fecal coliform bacteria disappearance rates in a north-central Gulf of Mexico estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 2:309-318.
- CIOH- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. 2010 *Climatología de los Principales Puertos del Caribe colombiano: Cartagena de Indias*. Disponible desde internet en: <https://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia/Climatologia%20Cartagena.pdf> (con acceso el 19 de abril de 2018)
- CITUR – Centro de Información Turística de Colombia. 2018. *Estadísticas departamento de Chocó*. Disponible en: <http://citur.linktic.com/estadisticas/departamental> (con acceso 01/05/2018).
- CNRCOP- Centro Nacional de Referencia de Contaminantes Orgánicos Persistentes. 2018. *Breve Perfil de las sustancias COP incluidas en el Convenio de Estocolmo. Heptacloro*. Disponible desde internet en <http://www.cnrcop.es/gc/assets/docs/Heptacloro.pdf> (con acceso el 4 de mayo de 2018).
- CONAGUA – Comisión Nacional del Agua. 2015. *Monitoreo calidad del agua: escalas de clasificación de la calidad del agua superficial*. Disponible desde internet en: <http://files.conagua.gob.mx/transparencia/CalidaddelAgua.pdf> (con acceso el 16 de diciembre de 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.
- Contraloría General del Departamento del Chocó. 2015. *Informe de auditoria modalidad especial al municipio de Bajo Baudó, verificar las operaciones realizadas por la entidad durante la vigencia fiscal de 2014 y primer semestre de 2015*. Quidó. 41 p.
- CORALINA – Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina e INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2012. *Gómez-López, D.I. Segura-Quintero, P.C. Sierra-Correa y J. Garay-Tinoco (Eds). Atlas de la Reserva de Biósfera Seaflower. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR No. 28. Santa Marta, Colombia 180 p.*

- CORPOGUAJIRA e INVEMAR. 2012. Atlas marino costero de La Guajira. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar No. 27. Santa Marta, Colombia. 188p.
- CORPOGUAJIRA y Unimagdalena. 2013. Complementación y evaluación de la Fases de Aprestamiento, Diagnostico y elaboración de la Fases de Prospectiva, Formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la cuenca hidrográfica del río Tapias. 124-383. Disponible en: http://www.corpogujira.gov.co/web/attachments_Joom/article/875/Informe%20Final%20POMCA%20Tapias%20tomo%20%20de%204%20parte%201%20de%203.pdf (con acceso el 08/05/2018).
- Cuesta, T., H. Henao, A. Ledezma, H. Moreno, T. Murillo, D. Panesso y L. Perea. 2013. Perfil productivo del Municipio Bahía Solano. MinTrabajo y PNUD. 103 p.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2005. Estimaciones de población 1985 - 2005 y proyecciones de población 2005 - 2020 total departamental por área, Censo 2005, https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/Municipal_area_1985-2020.xls. 11/02/2017.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2013. Área, producción y rendimiento agrícola del área cosechada en el año 2013. Información disponible desde internet en <http://geoportal.dane.gov.co/geocna/#> (consultado el 29/12/2017).
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2017. Proyección nacional y departamental de la población para los años desde 2005 al 2020. Disponible desde internet en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion> (con acceso el 01 de febrero de 2017).
- DANE. 2010. Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005 – 2020. Estudios Postcensales No.7. Bogotá. 300p
- Davis C, J. Long, M Donald y N. Ashobolt. 1995. Survival of faecal microorganisms in marine and freshwater sediments. *Appl. Environ. Microbiol*, (61):1888-1896
- Defarge, N., J. Spiroux y G. Séralini. 2018. Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. *Toxicology Reports*, 5: 156-163.
- Defensoría del Pueblo. 2015. La minería sin control: un enfoque desde la vulnerabilidad de los derechos humanos. Bogotá. 241 p. ISBN 978-958-8895-21-5.
- Díaz J. M, J Garzón-Ferreira y S Zea. 1995. Los arrecifes coralinos de la isla de San Andrés, Colombia: Estado Actual y perspectivas para su conservación. Academia colombiana de Ciencias Exactas, físicas y naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras No. 7. Bogotá. 150 p.
- Díaz Merlano, J.M (Eds). 2014. Región Caribe de Colombia. Capítulo 3: El Mar Caribe Colombiano. Banco de Occidente. Serie especial de colección ecológica. Bogotá D.C. (consultado en <https://www.imatedores.com/banocc/>)
- Díaz, J. M., G. Díaz-Pulido, J. Geister, J. Garzón-Ferreira, J.A. Sánchez y S. Zea. 1996. Atlas de los Arrecifes Coralinos del Caribe Colombiano. I Complejos Arrecifales Coralinos. Serie Publicaciones Especiales No. 2. INVEMAR. Santa Marta, Colombia. 83 p.

- Díaz, J. M., L. M. Barrios, M. H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G. H. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas-Angel, F. A. Zapata y S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 5, Santa Marta, 176p.
- DIMAR-CCCP. 2012. Panorama de la contaminación marina del Pacífico colombiano 2005-2010. Dirección general marítima-Cnetro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. Serie de Publicaciones Especiales Vol. 7, San Andrés de Tumaco, Colombia. 158 PP.
- El Heraldo. 2018. Contraloría le pone la lupa a la Ciénaga de Mallorquín. En línea, disponible en: <https://www.elheraldo.co/barranquilla/contraloria-le-pone-la-lupa-la-cienaga-de-mallorquin-480796> (con acceso el 18/04/2018).
- El País. 2014. Minería ilegal afecta al 20% del Valle del Cauca, según el Instituto Agustín Codazzi. En línea, disponible en: <http://www.elpais.com.co/valle/mineria-ilegal-afecta-al-20-del-del-cauca-segun-el-instituto-agustin-codazzi.html> (con acceso el 9 de mayo de 2018).
- El Tiempo. 2001. Revive derrame de crudo en Tumaco. En Línea, disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-675473> (con acceso el 29/12/2017).
- El Tiempo. 2015. Así se roban 16 mil barriles de petróleo al mes. En línea, disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16431573> (con acceso el 29/12/2017).
- El Tiempo. 2017. Record de visitantes en los parques nacionales naturales de Colombia. En línea, disponible en: <http://www.eltiempo.com/vida/ciencia/registro-de-visitas-en-parques-nacionales-naturales-34651> (con acceso el 01/04/2018).
- Elosegi, A y Sabater, S. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA. Bilbao, España. 444 p.
- EPA – Environmental Protection Agency of US. 1976. Ammonia toxicity.
- EPA – Environmental Protection Agency of US. 1980. Water Quality Standards Criteria Summaries, A Compilation of State/Federal Criteria: Nitrogen-Ammonia/Nitrate/Nitrite. Washington. 13 p.
- EPA – Environmental Protection Agency of US. 1996. The SW-846 Compendium: Method 3540C-Soxhlet Extraction. Disponible desde internet en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3540c.pdf> (con acceso el 14 de julio de 2017). 8 p.
- EPA – Environmental Protection Agency of US. 2014. The SW-846 Compendium: Method 8270D-Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS). Disponible desde internet en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/8270d.pdf> (con acceso el 14 de julio de 2017). 71 p.
- EPA – Environmental Protection Agency of US. 2016. National Recommended Water Quality Criteria. Disponible desde internet en: <https://www.epa.gov/wqc/national->

- recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table (con acceso el 16/12/2016).
- EPA Method 7473. 2007. 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. <http://www.caslab.com/EPA-Methods/>.
- Escobar, C.A y L. Vélasquez-Montoya. 2018. Modeling the sediment dynamics in the gulf of Urabá, colombian Caribbean sea. *Ocean Engineering* 147. 476-487 pp.
- Escobar, L. 2002. La Contaminación de los ríos y sus efectos en áreas costeras y el mar. División de recursos naturales e infraestructura. Naciones Unidas. Chile. 68 p.
- Euscátegui, C., y G. Hurtado. 2011. Análisis del impacto del fenómeno “La Niña” 2010-2011 en la hidroclimatología del país. Bogotá, Colombia.
- Fabricius, K.E. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 125–146.
- FAO, WFP PMA, OIM, OPS y OCHA Colombia. 2010. Identificación de necesidades municipio del Litoral del San Juan, departamento del Chocó. 13 p. Disponible en: http://www.paho.org/col/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=temporada-invernal&alias=796-informe-inundaciones-choco&Itemid=688 (con acceso el 30/04/2018).
- Flint R, G. Powell y R Kalke. 1986. Ecological effects from the balance between new and recycled nitrogen in Texas coastal waters. *Estuaries*. (9): 284-294.
- Fuentes J., R. Patiño., P. López., J. López. 2009. Densidad de bacterias coliformes y su relación con algunas variables físico-químicas en aguas de la laguna los mártires, isla de Margarita, Venezuela. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, vol. 21, N° 2 pp. 126-132.
- Garay, J., G. Ramírez; 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 Físicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR. Serie Documentos Generales N° 13. Santa Marta. 177 p.
- Garay, J.A. y A.M. Vélez. 2004. Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar – PNICM. INVEMAR, Santa Marta. 110 p.
- Garay-Tinoco, J.A., D.I. Gómez-López y J. R. Ortíz-Galvis (Eds). 2006. Diagnóstico integral del impacto biofísico y socioeconómico relativo a las fuentes de contaminación terrestre en la bahía de Tumaco, Colombia y lineamientos básicos para un Plan de Manejo. Proyecto PNUMA - CPPS. INVEMAR, CCCP y CORPONARIÑO, Santa Marta. 262 p.
- Garcés-Ordóñez, O. 2016. Evaluación de la presencia de microplásticos en el contenido estomacal de *Cetengraulis mysticetus*, procedente de la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. Convenio CPPS - INVEMAR, 2016. Informe técnico final. Santa Marta. 10 p.

- Garcés-Ordóñez, O., E. Arteaga, P. Obando, L.J. Vivas-Aguas, L. Espinosa, M. González, C. Giraldo y C. Ricaurte. 2016b. Atención a eventuales emergencias ambientales en la zona marino-costera del departamento del Magdalena. Convenio CORPAMAG-INVEMAR No. 14 de 2014, código: PRY-CAM-011-14. Informe técnico final. Santa Marta. 79 p.
- Garcés-Ordóñez, O., L.J. Vivas-Aguas, M. Martínez, T. Córdoba, A. Contreras, P. Obando, Y. Moreno, J. Muñoz, Y. Nieto, M. Ríos, J. Sánchez y D. Sánchez. 2016a. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de Publicaciones Periódicas del Invenmar No. 4 (2016). Informe técnico REDCAM 2015. INVEMAR, MADS y CAR costeras. Santa Marta. 377 p.
- Garcés-Ordóñez, O., V. Castillo, R. Rueda, M. Ríos, M. Bayona, F. Molina y M. Escobar. 2017. Componente 5: Diagnóstico de residuos microplásticos en las zonas marinas. 108-166. Santa Marta. 239p.
- García, H., A. Molina y J. Andrade. 2012. Beneficios de una red de reservas marinas para Colombia. Fedesarrollo, Bogotá. 62 p.
- García-Valencia C. (Ed.) 2007. Atlas del Golfo de Urabá: Una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. INVEMAR y Gobernación de Antioquia. Serie de publicaciones especiales. No. 12, Santa Marta. 180 p.
- Garzón, V. Bolívar, S. Páez, R. Herrera, E. Mora, M. Paz, A. Newball, H. Garzón, J. Uribe, Andrés. 2015. Actualización del inventario de humedales de agua dulce de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y zonificación a través de caracterizaciones socio-ecológicas rápidas. Informe Técnico Final Convenio de Asociación 004 entre Coralina y Fundación Alma. Bogotá D.C. 680 p + Anexos.
- Gavio, B., S. Palmer-Cantillo y J.E. Mancera. 2010. Historical analysis (2000-2005) of the coastal water quality in San Andrés Island, SeaFlower Biosphere Reserve, Caribbean Colombia. Mar. Poll. Bull., 60 (7): 1018-1030.
- GGweather – Golden Gate Weather Services. 2018. El Niño and La Niña Years and Intensities. Disponible en: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>
- Giraldo, A., E. Rodríguez y F. Zapata. 2008. Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia, Latin american journal of aquatic research, 36(1): 121-128.
- Gobernación de Córdoba. 2015. Geografía del departamento de Córdoba. Disponible desde internet en: <http://www.cordoba.gov.co/cordoba/geografia.html> (con acceso el 28 de abril de 2017).
- Gobernación del Valle del Cauca. 2010. Municipios del occidente del Valle. Disponible desde internet en: <http://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones.php?id=13688> (con acceso el 9 de mayo de 2018).
- Gómez, A., A.F. Osorio, F.M. Toro, J.D. Osorio, y O.A. Álvarez. 2009. Efecto del cambio de los caudales del Canal del Dique sobre el patrón de transporte horizontal en la bahía de Barbacoas. Boletín Científico CIOH No. 27, ISSN 0120-0542, 90-111.
- Gómez-Cubillos, M.C., L. Licero, L. Perdomo, A. Rodríguez, D. Romero, D. Ballesteros, D. Gómez, A. Melo, L. Chasqui, M. Ocampo, D. Alonso, J. García, C. Peña, M. Bastidas y

- C. Ricaurte. 2015. Portafolio Áreas de arrecifes de coral, pastos marinos, playas de arena y manglares con potencial de restauración en Colombia. Serie de publicaciones Generales del INVEMAR No. 79, Santa Marta. 69 p.
- Griffith, J., Schiff, K., Lyon, G. y J. Fuhrman. 2010. Microbiological water quality at non-human influenced reference beaches in southern California during wet weather. *Marine Pollution Bulletin* 60: 500-508.
- Heiss, E. y R. Fulweiler. 2016. Coastal water column ammonium and nitrite oxidation are decoupled in summer. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 178: 110-119
- Hernández-Ortiz, M., M. Carrillo y A. López. Capítulo 1: Los espacios oceánicos y zonas costeras e insulares de Colombia. Pp 18-26. En INVEMAR. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2016. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 200 p.
- Herrera A. 2005. Indicadores bacterianos como herramientas para medir la calidad ambiental del agua costera. En *Interciencia*, 30(03): 171-176.
- Howard y Taylor. 2005. MPA Profile The Seaflower MPAs, Colombia: Cooperative, Consensus-Based Planning with Stakeholders. MPA New, International News and Analysis on Marine Protected Areas, 6 (10): 5.
- ICONTEC. 2004. NTC-ISO 5667-3. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: directrices para la preservación y manejo de las muestras. Bogotá, 52 p. ICONTEC, 2015. NTC-ISO 5667-15. Calidad del agua. Muestreo. Parte 15: Guía para preservación y manejo de muestras de lodos y sedimento.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudio Ambientales. 2018. Gráficos por ciudad de serie de tiempo de la precipitación porcentual respecto a la media vs. Índice Oceánico de El Niño (ONI). Disponible desde internet en: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/enso-el-nino-y-la-nina>. Consultado el 28/03/2018.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudio Ambientales. 2017d. Atlas Climatológico, de Radiación y Viento. La nueva herramienta para la planificación sectorial. Disponible desde internet en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>. (con acceso el 28/03/2018).
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudio Ambientales. 2017e. Mapas de precipitación mensual por año. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/precipitacion-mensual-por-ano>. (con acceso el 12/12/2017)
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2017c. Atlas climatológico de Colombia. Disponible desde internet en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html> (con acceso el 20 diciembre de 2017).
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2016a. Información hidrológica en 21 estaciones ubicadas en los litorales Pacífico y Caribe colombiano. Series históricas a escala mensual. Formato digital. Bogotá: IDEAM, Colombia.

- IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2017a. Gráficos de seguimiento diario de la precipitación. Disponible desde internet en: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/graficos-seguimiento-diario-precipitacion-principales-ciudades> (con acceso el 28/12/2017).
- IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. 2017b. Seguimiento al ENSO – El Niño y La Niña. Serie de tiempo: precipitación porcentual respecto a la media vs. Índice Oceánico de El Niño (ONI)- Santa Marta. Disponible desde internet en: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/enso-el-nino-y-la-nina> (con acceso el 20 de noviembre de 2017).
- IDEAM- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 2016c. El niño continúa en su fase de mayor intensidad. Retrieved December 15, 2015, from http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/el-nino-continua-en-su-fase-de-mayor-intensidad
- IDEAM– Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2016d. Costa Pacífica colombiana, pronóstico de Pleamares y Bajamares. Bogotá, D. C.
- IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C, 276 p. + 36 hojas cartográficas.
- IDEAM. 2012. Boletín climatológico mensual (marzo 2012). Bogotá. 23 p.
- IDEAM. 2015. Estudio nacional del agua 2014. Bogotá, D.C. 493 p.
- IDEAM–Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2016b. Boletines informativos sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climática “El Niño” y “La Niña”. Series históricas a escala mensual.
- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi), 1990. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. IGAC. Bogotá. 499 p.
- IGAC, IDEAM y DANE. 2011. Reporte final de áreas afectadas por las inundaciones 2010-2011. Disponible desde internet en: https://www.dane.gov.co/files/noticias/Reunidos_presentacion_final_areas.pdf (con acceso el 01/11/2017).
- IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1996. Diccionario Geográfico de Colombia, 3ª ed. (revisada y aumentada). 1: 288- 294.
- INVEMAR - Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras 2015d. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2014. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 176 p.
- INVEMAR – CRC - CORPONARIÑO. 2006. Unidad Ambiental Costera de la Llanura Aluvial del Sur: Caracterización, Diagnóstico Integrado y Zonificación Ambiental. Editado por:

- A. López. INVEMAR – CRC - CORPONARIÑO. Santa Marta. 383 p + Cartografía Anexa
- INVEMAR - Instituto de Investigación Marinas y Costeras. 2017a. Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia – SIAM. Base de datos de la Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. INVEMAR. Disponible desde internet en: <http://www.invemar.org.co/siam/redcam>
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” y MADS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2011. Desarrollo de Fundamentos para el Fortalecimiento de los Parámetros y los Límites Permisibles de los Vertimientos Puntuales a las Aguas Marinas en Colombia. Informe Final. Santa Marta. 189 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras, CARSUCRE – Corporación Autónoma Regional de Sucre y CVS – Corporación Autónoma Regional de los valles del Sinú y San Jorge. 2002. Formulación del Plan de Manejo Integrado de la Unidad Ambiental Estuarina del Río Sinú y Golfo de Morrosquillo, Caribe Colombiano. Informe Técnico Fase I- Caracterización y Diagnóstico. 188 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2001. Diagnóstico de la calidad ambiental en las zonas marinas y costeras de los departamentos del Caribe y Pacífico colombianos. Anexo 6 Tomo II. INVEMAR/MMA-FONAM-BID/ CAR costeras, CIOH, IIAP y DAMARENA. Santa Marta. 99 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2002. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia. Serie de Publicaciones Periódicas; No. 8, Servigráficas, Medellín: 178 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2006. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Informe Técnico REDCAM 2006. INVEMAR. Santa Marta. 344 p.
- INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2014a. 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 - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2014b. Concepto técnico para evaluar la calidad ambiental marina en diferentes áreas del golfo de Morrosquillo posiblemente afectadas por hidrocarburos tras el incidente ocurrido durante la operación de cargue del buque “Energy Challenger” en la boya tlu-1, terminal marítima de Coveñas. CPT-CAM-021-14. Santa Marta. 27 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2014c. Concepto técnico la evaluación del estado actual de las playas afectadas por los derrames de hidrocarburos en la zona costera de los municipios San Onofre, Tolú y Coveñas - Sucre. CPT-CAM023-14. Santa Marta. 14 p
- INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2015a. Concepto técnico sobre aparición de mancha roja frente a playa Blanca y la bahía de Santa Marta. Santa Marta. 21 p.

- INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2015b. Concepto técnico sobre posible evento de floración de microalgas frente a la playa del Rodadero. Santa Marta. 17 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2015c. Concepto técnico sobre derrame de petróleo en el municipio de San Andrés de Tumaco (Nariño), en junio de 2015. Santa Marta. 20 p.
- INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2017b. Concepto técnico sobre la mancha roja observada desde la bahía de Santa Marta hasta el sector de playa Blanca. Santa Marta. 18 p.
- INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2017c. Concepto técnico sobre la mancha roja observada entre las bahías de Santa Marta y Taganga. Santa Marta. 17 p.
- INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2017d. 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, 2017e. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2016. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 200 p.
- INVEMAR, 2017f. Monitoreo de mercurio y cianuro en la cuenca baja de los ríos Timbiquí y Saija, departamento del Cauca. Anexo 10, Convenio 371 CRC- INVEMAR Santa Marta, 21 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.
- Juárez-Colunga, M.C., JM. Hernández-Ayón, R. Durazo, R. Lara-Lara, G. Gaxiola-Castro, A. Siqueiros-Valencia y O. Salmerón-García. 2010. Variación espacial y temporal del pH. Aspectos químicos, 181-195 p.
- Knox, G.A. 2001. The ecology of seashore. CRC Press. Boca Raton. 557 p.
- Kramer D. 1987. Dissolved oxygen and fish behavior. Environ Biol Fish 18:81–92
- Lardies, M.A. y M. Fernández. 2002. Effect of oxygen availability in determining clutch size in *Acanthina monodon*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 239, 139–146.
- 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.
- Liu S, J Zhang, H Chen y G Zhang. 2005. Factors influencing nutrient dynamics in the eutrophic Jiaozhou Bay, North China. Prog Oceanogr. (66): 66-85 p.

- 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.
- Manahan, S. 2007. Introducción a la química ambiental (primera Edición). Reverté Ediciones S. A., España. 150-152.
- Marcovecchio, J. y R. Freije. 2013. Procesos químicos en los estuarios. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe, Bahía Blanca, Argentina. 394 p.
- 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-Campo, M. 2017. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 11 p. En: INVEMAR. 2017. 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 – REDCAM: INVEMAR, MADS y CAR costeras. Informe técnico 2016. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 (2017) del INVEMAR, Santa Marta. 260 p.
- Martínez-Campo, M. y M. Bayona-Arenas 2017. Cauca. 11 p. En: INVEMAR. 2017. 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 – REDCAM: INVEMAR, MADS y CAR costeras. Informe técnico 2016. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 (2017) del INVEMAR, Santa Marta. 260 p.
- Masol-Deyá, A. 2002. Manual de laboratorios. Ecología de microorganismos. Universidad de Puerto Rico. 17 p.
- Massoud, M., F. Al-Abdali y 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.
- MAVDT- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2004. Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia. Bogota, D. C.
- Melrose, D. E.; C. A. Ovita y M. S Berman. 2007. Hypoxic events in Narragansett Bay, Rhode Island, during the summers of 2001. *Estuaries and Coasts*. 70:47-53 p
- Mena, H., D. Mosquera, R. Sánchez, D. Panesso, A. Ledezma, D. Quejada y D. Mosquera. 2015a. Perfil productivo municipio de Acandí, Chocó. PNUD y MinTrabajo. 95 p.
- Mena, H., M. Córdoba, D. Panesso, D. Mosquera, R. Sánchez y A. Ledezma. 2015b. Perfil productivo municipio de Unguía, Chocó. PNUD y MinTrabajo. 78 p.
- MinAgricultura – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2016. Evaluaciones agropecuarias municipales. Disponible desde internet en <http://www.agronet.gov.co/Documents/Sucre.pdf> (con acceso el 3 de enero de 2018).

- MinAmbiente. 2018. Nuquí se suma a limpiar Colombia. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3178-nuqui-se-suma-a-limpiar-colombia> (con acceso el 30/04/2018).
- MinMinas – Ministerio de Mina y Energía de Colombia. 2011. Censo minero departamental colombiano. Disponible en: <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2923/%5B16%5D%20Censo%20Minero%20Departamental%20Colombiano.pdf?sequence=20&isAllowed=y> (con acceso el 30/04/2018).
- 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.
- MinTrabajo – Ministerio de Trabajo y PNUD – Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. 2013. Perfil Productivo del Municipio de Turbo. Bogotá. 128 p.
- MMA – Ministerio del Medio Ambiente. 2002. Programa Nacional para el Uso sostenible, manejo y conservación de los ecosistemas de manglar. Bogotá, Colombia: Ministerio del Medio Ambiente.
- Molina-Bolívar, G. y I. Jiménez-Pitre, I. 2017. Análisis de la contaminación por Coliformes Termotolerantes en el estuario del río Ranchería, La Guajira (Colombia). Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas, 21 (2): 41-50. DOI: 10.17151/bccm.2017.21.2.3
- Montalvo, J.F., I. García, S. Loza, S. Esponda, M. E. César, R. González y L. Hernández. 2008. Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de aguas interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. Serie Oceanológica. No. 4, 71 – 84 p.
- Montealegre, C y Mejía, G. 2015. Sedimentación en la bahía de Cartagena, un impacto socioeconómico. Dictamen Libre, 16: 11 – 20.
- Montoya, L. 2010. Dinámica oceanográfica del golfo de Urabá y su relación con los patrones de dispersión de contaminantes y sedimentos. Doctorado thesis, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
- Montoya, L.J, F.M., Toro y E.A. Gómez. 2008. Modelación hidrodinámica de la pluma del río Atrato en el golfo de Urabá, Colombia. XXIII Congreso latinoamericano de hidráulica. Cartagena. 15p.
- Mosquera, L. 2016. Evaluación exploratoria de la calidad del agua del río San Juan en el municipio de Tadó, Chocó, por el impacto que causan los vertimientos mineros. Tesis de maestría en Desarrollo sostenible y medio ambiente, Univ. Manizales. Manizales, 111p.
- Munn CB. 2004. Marine Microbiology: ecology and applications. New York: BIOS Scientific Publisher.
- NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. 2018. Historical El Nino / La Nina episodes. Disponible desde internet en: http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php (con acceso el 26/01/2018).

- NOOA- National Oceanic and Atmospheric Administration. 2014. Center for Weather and Climate Prediction Disponible desde internet: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/expert_assessment/ENSO_DD_archive.shtml. (con acceso el 1 de mayo de 2018)
- OMS - Organización Mundial de la Salud. 2003. Directrices para ambientes de aguas recreativas seguras. Costa y aguas frescas. Vol. 1. Ginebra. 219 p.
- Organización Panamericana de la Salud. 2007. Evento: Inundaciones en el departamento de Córdoba. Disponible desde internet en: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/A65ABE2DD9B0C9FBC1257322004C016B-Reporte_completo.pdf (con acceso el 9 de mayo de 2018).
- Otero, L. 2005. Aplicación de un Modelo Hidrodinámico Bidimensional para Describir las Corrientes y la Propagación de la Onda de Marea en la Bahía de Buenaventura. Boletín Científico CCCP No. 12.
- Paerl H. 2006. Assessing and managing nutrient-enhanced eutrophication in estuarine and coastal waters: Interactive effects of human and climatic perturbations. *Ecol Eng.* (26): 40-54.
- Palacio-Torres, Y., K. Caballer-Gallardo y J. Olivero-Verbel. 2018. Mercury pollution by gold mining in a global biodiversity hotspot, the Choco biogeographic region, Colombia. *Chemosphere*, 193: 421-430.
- Palmarroza, E.J. 2017. Agua, territorio y desarrollo, en la desviación del arroyo Bruno en La Guajira, Colombia: Análisis del impacto del agua y el territorio en las comunidades del área de influencia de la extracción minera de carbón en el Cerrejón, por la desviación del arroyo Bruno, en la cuenca del río Ranchería, Departamento de La Guajira. (2010-2016). Tesis de maestría en planeación para el desarrollo. Universidad Santo Tomás de Aquino. Bogotá D.C. 108 p.
- Paramo, J., L. Guillot-Illidge, S. Benavides, A. Rodríguez y C. Sánchez-Ramírez. 2009. Aspectos poblacionales y ecológicos de peces demersales de la zona norte del Caribe colombiano en relación con el hábitat: una herramienta para identificar Áreas Marinas Protegidas (AMP) para el manejo pesquero. *Caldasia*, 31 (1): 123-14
- Parra JP y L Espinosa. 2007. Acumulación de Pb, Cd y Zn en sedimentos asociados a *Rhizophora mangle*, en el río Sevilla Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 31(120): 357-364 p.
- Pinilla, G., A. Gutierrez y G. Ulloa. 2007. Estudio de la reducción de caudales en el Canal del Dique: efectos ecológicos de la derivación de las aguas y sedimentos hacia la bahía de Barbacoas. Convenio No. 1033-2007 entre LEH y CORMAGDALENA. Cartagena, 42 p.
- PNNC – Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2005. Plan de Manejo Parque Nacional Natural Sanquianga. Disponible desde internet en: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/parqueSanquianga.pdf> (con acceso el 28/12/2017). 299 p.
- PNNC – Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2016. Manejo de residuos sólidos en el PNN Utría. Disponible en: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp->

<content/uploads/2016/12/Manejo-Residuos-solidos-Utria.pdf> (con acceso el 01/30/2018).

- PNNC- Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2017. Datos Generales del Parque Nacional Natural Sanquianga. Disponible desde internet en: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/parques-nacionales/parque-nacional-natural-sanquianga/> (con acceso el 29/12/2017).
- PNUMA – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 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.
- PNUMA. Perspectivas del Medio Ambiente. 2003. Programa de Naciones Unidas Para el Medio Ambiente. Mundi Prensa. Madrid España; 410 p.
- Posada, B.O y W. Henao. 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. INVEMAR, Serie de publicaciones especiales No. 13, Santa Marta. 200 p.
- Puga, S, Sosa, M, Lebgue, T, Quintana, C, & A, Campos. 2006. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera: Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. *Ecología Aplicada*, 5(1-2), 149-155. Recuperado en 12 de enero de 2018, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162006000100020&lng=es&tlng=es.
- Pulido M, SL. Ávila, SM. Estupiñán-Torres y AC. Gómez-Prieto. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. En: *Nova - Publicación Científica*; 3 (4):69-79.
- Ramírez A. y Viña G. 1998. *Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. Editorial de la Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 1ª edición. Santafé de Bogotá, Colombia. 293 p.
- Ramos, A. y D.S. Guerrero. 2010. El suelo costero, propuesta para su reconocimiento. Eds. Instituto de Estudios del Ministerio público, Procuraduría General de la nación, y Fundación MarViva. 120p Restrepo, J. 2006. Aporte de los caudales de los ríos Baudó, San Juan, Patía y Mira a la cuenca Pacífica Colombiana. *Boletín Científico CCCP*, (13): 17-32.
- Ricaurte-Villota, C. y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.). 2017. *Regionalización oceanográfica: una visibilización región Caribe*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras Jose Benito Vives De Andreis (INVEMAR). Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR # 14. Santa Marta, Colombia 180 p.
- Rodríguez, J. 2016. Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar – Actualización del Plan de Acción 2014-2019, Bogotá. 70p.
- Roldán, G. y J. Ramírez. 2008. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 2da Edición. Universidad de Antioquia, Medellín. 442 p. ISBN: 978-958-714-144-3.

- Romero, J.A. 2002. Calidad del Agua. Primera edición. Escuela Colombiana de Ingeniería. 484 p.
- Ruíz-Ochoa, M., G. Bernal y J. Polanía. 2008. Influencia del río Sinú y el mar Caribe en el sistema lagunar de Cispata. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 37(1): 31-51.
- Santos FJ. 2004. Estudio de la dispersión de las partículas suspendidas en la Laguna de Términos. Simposio la investigación en la facultad de Ingeniería. Universidad de México. En: http://www.fi-p.unam.mx/simposio_investigacion2dic04/estudio_dispersion_extenso.html (citado el 04 de mayo de 2018).
- Santos-Martinez, A., S. Hinojosa y O. Sierra. 2009. Proceso y avance hacia la sostenibilidad ambiental: la reserva de la biosfera Seaflower, en el Caribe colombiano. 17 p.
- Semana Sostenible. 2014. Una posibilidad para la Ciénaga de Mallorquín. En línea, disponible en: <http://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/una-posibilidad-para-cienaga-mallorquin/31301>. (con acceso el 18/04/2018).
- Semana. 2013. Descubren robo de crudo en oleoducto Trasandino. En línea, disponible en: <http://www.semana.com/nacion/articulo/descubren-robo-crudo-oleoducto-trasandino/340250-3> (con acceso el 29/12/2017).
- Shoji, J., Masuda, R., Yamashita, Y. 2005. *Marine Biology* 147: 863. Disponible en: <https://doi-org.ezproxy.javeriana.edu.co/10.1007/s00227-005-1579-8>
- Signoretto C, G. Burlacchini, M. Lleo, C. Pruzzo, M. Zampini, L. Pane, G. Franzini y P. Canepari. 2004. Adhesion of *Enterococcus faecalis* in the Nonculturable State to Plankton Is the Main Mechanism Responsible for Persistence of This Bacterium in both Lake and Seawater *Applied Environmental Microbiology*, 70 (11): 6892-6896.
- Smith V.H., G.D. Tilman y J.C. Nekola. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 100: 179-196.
- SUI – Sistema Unifco de Información de Servicios Públicos. 2017. Coberturas de acueducto, alcantarillado y aseo reportadas al sistema único de información, SUI, por las alcaldías municipales y distritales. Disponible en línea: <http://www.sui.gov.co/suibase/html/estratificacion/estratificacionSUI.htm> (con acceso el 16/12/2017).
- SUI– Sistema Único de Información. 2012. Reporte por Servicios. Reporte de Alcantarillado. Consulta de Información de Alcantarillado. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Disponible en desde internet en: http://reportes.sui.gov.co/reportes/SUI_ReporteAlcantarillado.htm (con acceso el 28 de diciembre de 2016).
- Superservicios - Superintendencia de Servicios Publicos Domiciliarios. 2017. Informes ejecutivos de gestión de empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios (Acueducto, Alcantarillado y Aseo), <http://www.superservicios.gov.co/Acueducto-Alcantarillado-Aseo/Acueducto-y-alcantarillado/Informes-de-gestion/>. 22/01/2018.

- Superservicios - Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2015. Disposición final de residuos sólidos - Informe Nacional. Bogotá. 67p.
- Superservicios – Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2016. Información suministrada por la entidad sobre producción de residuos sólidos y sistemas de tratamiento de agua residuales en los municipios costeros en oficio 20164230699691 del 20 de octubre de 2016.
- Superservicios – Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2014a. Disposición Final de Residuos Sólidos. Informe Nacional. Bogotá. 66 p.
- Superservicios – Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2014b. Informe técnico sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Bogotá. 101 p.
- Tamaris, C. y J. Rodríguez. 2015. Transporte de materia orgánica a lo largo de un río Tropical de montaña en la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). *Act. Biol.*, 20(3):209-216.
- 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.
- Trowbridge, C. J. Davenport, D. Cotterl, L. Harman, C. Plowman, C. Little, McAllen, R. 2017. Extreme oxygen dynamics in shallow water of a fully marine Irish se lough. *Regional Studies in Marine Science*. Vol 11, 9-16 p.
- UNEP – Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, IAEA – Organismo Internacional de la Energía Atómica y IOC – Comisión Oceanográfica Intergubernamental. 1992. Métodos y Materiales de referencia: un programa de apoyo integral para las evaluaciones regionales y globales de la contaminación marina. 75 p.
- UNEP – Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2016. Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme, Nairobi. 252p.
- UNEP/IOC/IAEA. 1992. Reference methods and materials: A programme of comprehensive support for regional and global marine pollution assessments. 75p.
- UNEP-RCU/CEP. 2010. Actualización del informe técnico del PAC No. 33 fuentes y actividades terrestres en la región del Gran Caribe. Cargas contaminantes domésticas e industriales y el aporte de las cuencas hidrográficas tributarias. Informe técnico del programa ambiental del Caribe. UNEP-PAC-CIMAB. 84 p.
- UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 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.
- Urrego, L.E., E.C. Molina y J.A. Suárez. 2014. Environmental and anthropogenic influences on the distribution, structure, and floristic composition of mangrove forests of the Gulf of Urabá (Colombian Caribbean). *Aquatic Botany* 114. 42-49p.
- Vallejo Toro, P.P, L.F. Vásquez, I.D. Correa, G.R. Bernal, J. Alcántara y J.A. Palacio. 2016. Impact of terrestrial mining and intensive agricultura in pollution of estuarine Surface

- sedimentos: Spatial distribution of trace metals in the Gulf of Urabá, Colombia. *Marine Pollution Bulletin* 111. 311-320 p.
- Varona, M., G.L. Henao, S. Díaz, A. Lancheros, A. Murcia, N. Rodríguez y V.H. Álvarez. 2009. Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. *Biomédica* 29: 456-475.
- Vélez-Agudelo, C y N. Aguirre-Ramírez. 2016. Influencia del río Atrato en el Golfo de Urabá durante el Holoceno tardía, *Mar Caribe Colombiano*. *Bol. Invest. Mar. Cost*; 45: 73-9.
- Vivas-Aguas, J.L., L. Espinosa, J. Sánchez, B. Cadavid, P. Bautista, M. Quintero, J. Betancourt, J. Parra, L. Parra, I. Cuadrado y K. Ibarra. 2012. Diagnóstico y Evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Informe técnico REDCAM 2012. INVEMAR, Santa Marta. 310 p.
- Vivas-Aguas, L. J. y S. M. Navarrete-Ramírez. 2014. Protocolo Indicador Calidad de Agua (ICAM_{PF}). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). INVEMAR, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invenmar No. 69, Santa Marta. 32 p.
- Vivas-Aguas, L. J., Obando-Madera, P. S., y Arias-Alemán, L. 2017. Hoja metodológica del indicador. Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras – ICAM. Versión 3. Santa Marta D.T.C.H., Colombia.
- Vivas-Aguas, L. M Totic, J Sánchez, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt, J. Parra, L. Echeverry y L. 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., J. A. Garay Tinoco, L. Espinosa, P. Abdulazis, O. Bent, T. Guerrero, L. Osorio, A. Pomare y J. Taylor, 2012. Calidad ambiental en las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. pp 61 - 86 en CORALINA-INVEMAR, 2012. Gómez-López, D. I., C. Segura-Quintero, P. C. Sierra-Correa y J. Garay-Tinoco (Eds). Atlas de la Reserva de Biósfera Seaflower. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” -INVEMAR- y Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina -CORALINA-. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR # 28. Santa Marta, Colombia 180 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. 2015b. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones del Invenmar No. 4 (2015). Informe Técnico REDCAM 2014, INVEMAR, Santa Marta. 320 p.

- Vivas-Aguas, L.J., P.S. Obando y A.F. Herrera. 2015a. Hoja metodológica del indicador. Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras - ICAM (Versión 1.0). INVEMAR- DANE. 16p.
- Weber-Scannell, P. y L. Duffy. 2007. Effects of Total Dissolved Solids on Aquatic Organisms: A review of literature and recommendation for Salmonid species. American Journal of Environmental Sciences 3 (1):1-6.
- Wright, J. y A. Colling (Eds). 1995. Seawater: Its Composition, Properties and Behaviour. Second Edition. The Open University.168 p.
- Yanes, A., C.M. Botero, M. Arrizabalaga y J.G. Vásquez. 2018. Methodological proposal for ecological risk assessment of the coastal zone of Antioquia, Colombia. Ecological Engineerin. 10p.
- Zanardi, E., M. Caruso-Bícego y R. Weber. 1999. Dissolved/ dispersed petroleum aromatic hydrocarbons in the São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil. Mar. Pollut. Bull. 38(5): 410-413.

ANEXOS

Anexo 1. Parámetros de calidad de aguas y metodologías utilizadas en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR, y valores de referencia de calidad de aguas utilizadas para el análisis de la información.

Parámetros	Método	Límite de cuantificación	Valores de referencia		
			Agua dulce	Agua marina y estuarina	Fuente bibliográfica
Salinidad (Unidad)	Medición electrométrica de la conductividad con electrodo acoplado a sonda (Standard Methods 2520-B, APHA <i>et al.</i> , 2012).	-	Tipos de agua Dulce: 0 - 0.5 Salobre oligohalina: 0,5-3,0 Salobre mesohalina: 3,0-10 Salobre polihalina: 10,0-17,0 Marina oligohalina: 17-30 Marina mesohalina: 30-34 Marina polihalina: 34-38 Salmuera: >38		Knox (2001)
Temperatura (°C)	Medición electrométrica con termocupla acoplada a sonda portátil (Standard Methods 4500-HB, APHA <i>et al.</i> , 2012).	-			
pH (Unidades)	Medición potenciométrica con sonda portátil (Standard Methods 4500-H B; APHA <i>et al.</i> , 2012).	-	Preservación de flora y fauna: 4,0-9,0	Preservación de flora y fauna: 6,5-8,5	MinSalud (1984)
Oxígeno disuelto (mg/L)	Medición en campo con electrodo de membrana (Standard Methods 4500-O G; APHA <i>et al.</i> , 2012).	-	Preservación de flora y fauna: 4,0 mg/L	Preservación de flora y fauna: 4,0 mg/L	MinSalud (1984)
DBO ₅ (mg/L)	Incubación sin dilución durante 5 días a 20 °C (Standard Methods N° 5210 B; APHA <i>et al.</i> , 2012).	<0,5	No contaminada: <3,0 mg/L Buena calidad: >3,0≤6,0 mg/L con indicios de contaminación: >6,0≤30 mg/L Contaminada: >30≤120 mg/L Fuertemente contaminada: >120 mg/L		MinSalud (1984)
SST (mg/L)	Filtración en membrana de fibra de vidrio, secado 103-105°C y gravimetría (Standard Methods N° 2540-D, APHA <i>et al.</i> , 2012)	<0,54	No contaminada: <25 mg/L Buena calidad: >25≤75 mg/L con indicios de contaminación: >75≤150 mg/L Contaminada: >150≤400 mg/L Fuertemente contaminada: 400 mg/L	No contaminada: <25 mg/L Buena calidad: >25≤75 mg/L Aceptable: >75≤150 mg/L Contaminada: >150≤400 mg/L Fuertemente contaminada: 400 mg/L *Preservación de corales 50 mg/L	CONAGUA (2015) *Fabricius (2005)
N-NO ₂ ⁻ (µg/L)	Método colorimétrico de la sulfanilamida (Garay <i>et al.</i> , 2003).	<0,7			
N-NO ₃ ⁻ (µg/L)	Método colorimétrico basado en la reducción con cadmio y reacción por sulfanilamida (Garay <i>et al.</i> , 2003).	<2,1			
N-NH ₄ ⁺ (µg/L)	Método colorimétrico del azul de indofenol (Garay <i>et al.</i> , 2003).	<3,1			
P-PO ₄ ⁻³ (µg/L)	Método colorimétrico del ácido ascórbico (Garay <i>et al.</i> , 2003).	<2,4			
Coliformes totales (NMP/100mL)	Fermentación en tubos múltiples método de números más probable (Standard Methods 9221-B; APHA <i>et al.</i> , 2012).	<1	Uso recreativo: Contacto primario <1000 NMP/100mL Contacto secundario <5000 NMP/100 mL	Uso recreativo: Contacto primario <1000 NMP/100mL Contacto secundario <5000 NMP/100 mL	MinSalud (1984)
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Fermentación en tubos múltiples método de número más probable (Standard Methods 9221-E, APHA <i>et al.</i> , 2012)	<1	Uso recreativo: Contacto primario <200 NMP/100mL	Uso recreativo: Contacto primario <200 NMP/100mL	MinSalud (1984)
Enterococos fecales (UFC/100mL)	Filtración por membrana (Standard Methods N° 9230 C, APHA <i>et al.</i> , 2012)	<1		Categoría, Concentración y Riesgo estimado por exposición:	OMS (2003)

Parámetros	Método	Límite de cuantificación	Valores de referencia		
			Agua dulce	Agua marina y estuarina	Fuente bibliográfica
				A, ≤40 UFC/100 mL, <1% de contraer EGI y <0,3% de contraer ERFA. B, 41–200 UFC/100 mL, 1–5% de EGI y 0,3–1,9% de ERFA. C, 201–500 UFC/100 mL, 5–10% de EGI y 1,9–3,9% de ERFA. D, >500 UFC/100 mL, >10% de EGI y >3,9% de ERFA	
HPDD (µg/L)	Extracción líquido-líquido con diclorometano y cuantificación fluorométrica (UNESCO, 1984; Garay <i>et al.</i> , 2003)	<0,07		Aguas contaminadas: >10,0 µg/L Contaminación baja: 5,0 µg/L Contaminación no significativa: <1,0 µg/L	Zanardi <i>et al.</i> (1999) Acuña-González <i>et al.</i> (2004)
Aldrin (ng/L)	Extracción líquido – líquido con diclorometano y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM (PNUMA, 2008)	<25,0	Efectos crónicos: 17 ng/L* Efectos agudos: 3000 ng/L	Efectos agudos: 1300 ng/L	EPA (2016) * Buchman (2008)
Dieldrin (ng/L)		<28,2	Efectos crónicos: 56 ng/L Efectos agudos: 240 ng/L	Efectos crónicos: 1,9 ng/L Efectos agudos: 710 ng/L	EPA (2016)
Endrin (ng/L)		<26,3	Efectos crónicos: 36 ng/L Efectos agudos: 86 ng/L	Efectos crónicos: 2,3 ng/L Efectos agudos: 370 ng/L	EPA (2016)
Endrin Aldehído (ng/L)		<26,5	Efectos crónicos: 36 ng/L Efectos agudos: 86 ng/L	Efectos crónicos: 2,3 ng/L Efectos agudos: 370 ng/L	No hay referencia, pero se usa el valor de Endrin de EPA (2016)
Endrin Cetona (ng/L)		<29,9	Efectos crónicos: 36 ng/L Efectos agudos: 86 ng/L	Efectos crónicos: 2,3 ng/L Efectos agudos: 370 ng/L	No hay referencia, pero se usa el valor de Endrin de EPA (2016)
ppDDT (ng/L)		<35,8	Efectos crónicos: 1 ng/L Efectos agudos: 1100 ng/L	Efectos crónicos: 1 ng/L Efectos agudos: 1300 ng/L	EPA (2016)
ppDDD (ng/L)		<25,6	Efectos crónicos: 11 ng/L Efectos agudos: 190 ng/L	Efectos crónicos: 360 ng/L Efectos agudos: 3600 ng/L	Buchman (2008)
ppDDE (ng/L)		<27,4	Efectos crónicos: 105000 ng/L Efectos agudos: 1050000 µg/L	Efectos crónicos: 1400 ng/L Efectos agudos: 14000 ng/L	Buchman (2008)
α-HCH (ng/L)		<23,3	Efectos crónicos: 2200 ng/L Efectos agudos: 39000 ng/L	Sin referencia	Buchman (2008)
β-HCH (ng/L)		<23,8	Efectos crónicos: 2200 ng/L Efectos agudos: 39000 ng/L	Sin referencia	Buchman (2008)
γ-HCH (ng/L)		<24,3	Efectos crónicos: 80 ng/L Efectos agudos: 950 ng/L	Efectos agudos: 80 ng/L	Buchman (2008)
δ-HCH (ng/L)		<24,2	Efectos crónicos: 2200 ng/L Efectos agudos: 39000 ng/L	Sin referencia	Buchman (2008)
Heptacloro (ng/L)		<334,7	Efectos crónicos: 1,9 µg/L Efectos agudos: 260 µg/L	Efectos crónicos: 1,8 ng/L Efectos agudos: 26,5 ng/L	Buchman (2008)
Heptacloro Epoxido (ng/L)		<26,9	Efectos crónicos: 1,9 µg/L Efectos agudos: 260 µg/L	Efectos crónicos: 1,8 ng/L Efectos agudos: 26,5 ng/L	Buchman (2008)
α-Clordano (ng/L)		<10,7	Efectos crónicos: 4,3 ng/L Efectos agudos: 2400 ng/L	Efectos crónicos: 4 ng/L Efectos agudos: 90 ng/L	No hay referencia, pero se usa el valor de clordano de EPA (2016)
γ-Clordano (ng/L)	<9,7	Efectos crónicos: 4,3 ng/L Efectos agudos: 2400 ng/L	Efectos crónicos: 4 ng/L Efectos agudos: 90 ng/L	No hay referencia, pero se usa el valor de	

Parámetros	Método	Límite de cuantificación	Valores de referencia		
			Agua dulce	Agua marina y estuarina	Fuente bibliográfica
					clordano de EPA (2016)
Endosulfan I (ng/L)		<24,8	Efectos crónicos: 28 ng/L Efectos agudos: 110 ng/L	Efectos crónicos: 4,35 ng/L Efectos agudos: 17 ng/L	Buchman (2008)
Endosulfan II (ng/L)		<25,8	Efectos crónicos: 28 ng/L Efectos agudos: 110 ng/L	Efectos crónicos: 4,35 ng/L Efectos agudos: 17 ng/L	Buchman (2008)
Metoxicloro (ng/L)		<27,1	Efectos crónicos: 30 ng/L	Efectos crónicos: 30 ng/L	EPA (2016)
Diazinon (ng/L)		<21,7	Efectos crónicos: 170 ng/L Efectos agudos: 170 ng/L	Efectos crónicos: 820 ng/L Efectos agudos: 820 ng/L	EPA (2016) Buchman (2008)
Clorotalonil (ng/L)		<43,8	Efectos crónicos: 180 ng/L	Efectos crónicos: 360 ng/L	Buchman (2008)
MetilParation (ng/L)		<21,3	Efectos crónicos: 13 ng/L Efectos agudos: 65 ng/L	Sin referencia	No hay referencia, pero se usa el valor de Paration en EPA (2016)
Bromacil (ng/L)		<18,5	Efectos crónicos: 5000 ng/L	Sin referencia	Buchman (2008)
Clorpirifos (ng/L)		<18,3	Efectos crónicos: 41 ng/L Efectos agudos: 83 ng/L	Efectos crónicos: 5,6 ng/L Efectos agudos: 11 ng/L	EPA (2016) Buchman, 2008
CIS-permetrina (ng/L)		<8,5	Efectos crónicos: 4 ng/L	Efectos crónicos: 1 ng/L	No hay referencia, pero se usa el valor de Permetrina en Buchman (2008)
trans-permetrina (ng/L)		<13,8	Efectos crónicos: 4 ng/L	Efectos crónicos: 1 ng/L	No hay referencia, pero se usa el valor de Permetrina en Buchman (2008)
Plomo (Pb) disuelto (µg/L)	Extracción APDC-MIBK-HNO ₃ 1N y cuantificación por absorción atómica con llama (Standard Methods N° 3111-C, APHA <i>et al.</i> , 2012, Garay <i>et al.</i> , 2003)	<3,1	Efectos crónicos: 2,5 µg/L Efectos agudos: 65,0 µg/L	Efectos crónicos: 8,1 µg/L Efectos agudos: 65,0 µg/L	Buchman (2008)
Cadmio (Cd) disuelto (µg/L)		<0,42	Efectos crónicos: 0,25 µg/L Efectos agudos: 2,0 µg/L	Efectos crónicos: 8,8 µg/L Efectos agudos: 40 µg/L	Buchman (2008)
Cobre (Cu) disuelto (µg/L)		<0,9	Efectos crónicos: 9,0 µg/L Efectos agudos: 13,0 µg/L	Efectos crónicos: 1,3 µg/L Efectos agudos: 2,0 µg/L	Buchman (2008) EPA (2016)
Zinc (Zn) disuelto (µg/L)		<6,9	Efectos crónicos: 120 µg/L Efectos agudos: 120 µg/L	Efectos crónicos: 81,0 µg/L Efectos agudos: 90,0 µg/L	Buchman (2008)
Níquel (Ni) disuelto (µg/L)		<1,0	Efectos crónicos: 52,0 µg/L Efectos agudos: 470,0 µg/L	Efectos crónicos: 8,2 µg/L Efectos agudos: 74 µg/L	Buchman (2008)
Hierro (Fe) disuelto(µg/L)		<4,7	Efectos crónicos: 350 µg/L (Disuelto)	Efectos crónicos: 50,0 µg/L Efectos agudos: 300,0 µg/L	Buchman (2008)

Anexo 2. Parámetros de calidad de sedimentos y metodologías utilizadas en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR, y valores de referencia de calidad de aguas utilizadas para el análisis de la información.

Parámetro	Método	Límite de cuantificación	Valores de referencia			
			Sedimentos fluviales	Sedimento marino y estuarino	Fuente bibliográfica	
Materia Orgánica (mg/g)	Digestión en frío con dicromato de potasio, método de Walkley y Black (IGAC, 1990)	<0,7			Sin referencia	
Hidrocarburos del petróleo p.s. (µg/g)	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona y cuantificación fluorométrica (UNEP <i>et al.</i> , 1992; Garay <i>et al.</i> , 2003).	<0,07	*Muy bajo: 0-20 µg/g (propio de aguas puras y quizá con algún aporte biogénico). *Bajo: >20-40 µg/g (con leve incidencia antrópica). *Medio: 40-80 µg/g (notable actividad antrópica). *Alto: >80-200 µg/g (áreas contaminadas - vertimientos). *Muy alto: >200 (áreas muy contaminadas - derrame o contingencia)	Niveles naturales <15 µg/g Contaminación baja <50 µg/g Media contaminación >50-200 µg/g Altamente contaminación >200 µg/g	*Ramírez y Viña, (1998) Massoud <i>et al.</i> (1998)	
Diazinon (ng/g)	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica-alúmina y cuantificación por GC-MSD modo SIM (UNEP/IOC/IAEA, 1992)	<11,5			Sin referencia	
Clorotalonil (ng/g)		<24,3			Sin referencia	
Methyl Parathion (ng/g)		<12,9			Sin referencia	
Bromacil (ng/g)		<13,1			Sin referencia	
Clorpirifos (ng/g)		<14			Sin referencia	
Fenaminphos (ng/g)		<26,4			Sin referencia	
Cis-permetrina (ng/g)		<5,7			Sin referencia	
a-HCH (ng/g)		<2,0			Sin referencia	
Heptacloro (ng/g)		<2,0			Sin referencia	
Aldrin (ng/g)		<2,0			Sin referencia	
g-Clordano (ng/g)			<6,0	TEL: 4, 5ng/g PEL: 8,9 ng/g	TEL: 2,26 ng/g PEL: 4,79 ng/g	Valor de referencia para Clordano en Buchman (2008)
Endosulfan I (ng/g)			<6,0			Sin referencia
Endrin Aldehido (ng/g)			<2,0	*TEL: 2,67 ng/g *PEL: 6,24 ng/g		*Valor de referencia para Endrin en Buchman (2008)
Endosulfan sulfato (ng/g)			<6,0			
pp-DDT (ng/g)		<4,0	TEL: 1,19 ng/g PEL: 4,77 ng/g	TEL: 1,19 ng/g PEL: 4,77 ng/g	Buchman (2008)	
Endrin Cetona (ng/g)		<2,0	*TEL: 2,67 ng/g *PEL: 6,24 ng/g		*Valor de referencia para Endrin en Buchman (2008)	
Metoxicloro (ng/g)		<6,0				

Parámetro	Método	Límite de cuantificación	Valores de referencia		
			Sedimentos fluviales	Sedimento marino y estuarino	Fuente bibliográfica
Plomo (Pb) total p.s. (µg/g)	Digestión asistida por microondas (Método EPA 3052, 1996) y cuantificación por espectrometría de absorción atómica con llama (Standard Methods N° 3500, APHA <i>et al.</i> , 2012)	<4,0	TEL: 35 µg/g PEL: 91,3 µg/g	TEL: 30,2 µg/g PEL: 112 µg/g	Buchman (2008)
Cadmio (Cd) total p.s. (µg/g)		<0,5	TEL: 0,596 µg/g PEL: 3,53 µg/g	TEL: 0,680 µg/g PEL: 4,21 µg/g	Buchman (2008)
Cromo (Cr) total p.s. (µg/g)		<6,4	TEL: 37,3 µg/g PEL: 90 µg/g	TEL: 52,3 µg/g PEL: 160 µg/g	Buchman (2008)
Cobre (Cu) total p.s. (µg/g)		<1,9	TEL: 35,7 µg/g PEL: 197 µg/g	TEL: 18,7 µg/g PEL: 108 µg/g	Buchman (2008)
Zinc (Zn) total p.s. (µg/g)		<4,3	TEL: 123 µg/g PEL: 315 µg/g	TEL: 124 µg/g PEL: 271 µg/g	Buchman (2008)
Níquel (Ni) total p.s. (µg/g)		<2,0	TEL: 18 µg/g PEL: 36 µg/g	TEL: 15,9 µg/g PEL: 42,8 µg/g	Buchman (2008)
Hierro (Fe) total p.s. (µg/g)		<0,2			Sin referencia
Mercurio (Hg) total p.s. (µg/g)	Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica (EPA, 2007).	<3,0	TEL: 0,174 µg/g PEL: 0,486 µg/g	TEL: 0,130 µg/g PEL: 0,70 µg/g	Buchman (2008)