



COLOMBIA
50% MAR

Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico Colombiano

2011

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

REDCAM



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

Santa Marta, 2012

Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico Colombiano

2011

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

REDCAM



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

Santa Marta, 2012

Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico Colombiano

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

INFORME TÉCNICO 2011

REDCAM

DIRECTIVOS INVEVAR

FRANCISCO ARMANDO ARIAS ISAZA
Director General

JESÚS ANTONIO GARAY TINOCO
Subdirector Coordinación de Investigaciones

CARLOS PINILLA GONZALEZ
Subdirector Recursos y Apoyo a la Investigación

DAVID ALONSO CARVAJAL
Coordinador Programa Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)

LUISA FERNANDA ESPINOSA DÍAZ
Coordinadora Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)

MARIO ENRIQUE RUEDA HERNÁNDEZ
Coordinador Programa Valoración y Aprovechamiento de Recursos (VAR)

PAULA CRISTINA SIERRA CORREA
Coordinadora Programa Investigación para la Gestión Marina y Costera (GEZ)

BLANCA OLIVA POSADA POSADA
Coordinadora (e) Programa Geociencias Marinas Y Costeras (GEO)

EQUIPO TÉCNICO E INVESTIGADORES

MARKO TOSIC
Jefe Proyecto y Nutrientes

JULIÁN MAURICIO BETANCOURT
Coordinador Laboratorios

LIZBETH JANET VIVAS AGUAS
Fuentes de contaminación, ICAM y Sistema de Gestión de Información REDCAM

SILVIA NARVÁEZ Y PAOLA BAUTISTA
Microbiología

BETTY CADAVID
Físicoquímicos

JOSÉ SÁNCHEZ
Hidrocarburos y microbiología

JUAN PABLO PARRA
Metales pesados

OSMAN ARAGÓN, HALBIN SERRANO, DEIVIS FLÓREZ, ENNEL NAVARRO, ANDERSON HOYOS, JOSÉ VIDES, KAREN IBARRA, MARINÉS QUINTERO, DIANA RODRÍGUEZ, MARCOS CARVAJALINO
Laboratorio de Calidad Ambiental Marina y colaboradores

LEONARDO ARIAS ALEMÁN
Laboratorio de Sistemas de Información LABSIS

LUISA F. ESPINOSA Y JESÚS A. GARAY TINOCO
Asesores

Compilación y Edición General

L. Janet Vivas-Aguas, Marko Tosic y Luisa Espinosa

APOYO EN REVISIÓN DE TEXTOS

Tomás Guerrero, Shelly Palmer, Tulio Ruíz, Jairo Vázquez, Diana Andrade, Lina García, Luz Marina Prieto, Mady García, Dídimo Mendivil, Jaiker Gómez

NODOS, ENTIDADES PARTICIPANTES Y COLABORADORES

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Jorge Augusto Acosta Rivera
Corporación para el Desarrollo Sostenible del Chocó - CODECHOCO
Bladimir Perea Mena y Arnold Rincón
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC
Luisa M. Baena
Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC
Luz Marina Prieto y Julio Cesar Rodríguez
Corporación Autónoma Regional de Nariño - CORPONARIÑO
Marcela Caviedes, Javier H. López y Gerardo Arteaga
Corporación Autónoma Regional de la Guajira - CORPOGUAJIRA
Jaiker Gómez Sierra y Leanis Pitre Ruíz
Corporación Autónoma Regional del Magdalena - CORPAMAG
Ismael Acosta Morales y Eliana Álvarez
Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA
Geinny Vásquez y Joe García
Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique - CARDIQUE
Ildefonso Castro, Benjamín Difilipo y Mady García
Corporación Autónoma Regional de Sucre - CARSUCRE
Tulio Rafael Ruíz Álvarez
Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge - CVS
Lina María García y Raúl Mésquida
Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá - CORPOURABA
Jairo Guillermo Vázquez y Diana Andrade
Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina - CORALINA
Patricia Abdul-Azis, Tomás Guerrero y Shelly Palmer
Establecimiento Público Ambiental de Cartagena - EPA Cartagena
Andrés Blanco y Dídimo Mendivil
Universidad de la Guajira - Instituto de investigaciones ambientales
Carlos Doria, Álvaro López y Edesnel Freyle
Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco Cartagena
Andrés Bahamón y Ganiveth Manjarréz

ESTUDIANTES

Julián Quintero, María Fernanda Vargas, Mary Alejandra Ríos, Carolina Steffen, Jhon Salom, Dario Rangel, Julián Aguilar.



Cítese como:

Vivas-Aguas, L.J., M. Tosic, J. Sánchez, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt, J. Parra, M. Carvajalino y L. Espinosa. 2012. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. -REDCAM. Informe técnico 2011. INVEVAR. Santa Marta, 229 p.



Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Resolución 003 de 2011

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|------------|
| RESUMEN EJECUTIVO | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| GENERALIDADES | 5 |
| 1. ÁREA DE ESTUDIO | 7 |
| 2. METODOLOGÍA | 8 |
| 2.1 FASE DE CAMPO Y LABORATORIO | 8 |
| 2.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN: BASE DE DATOS Y CARTOGRAFÍA..... | 11 |
| 2.3 CURSO DE CAPACITACIÓN Y TALLER REDCAM 2011 | 17 |
| 3. DIAGNÓSTICO NACIONAL | 19 |
| 4. DIAGNÓSTICO REGIONAL COSTA CARIBE | 37 |
| 4.1 FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN DEL CARIBE: CASO ESTUDIO LA GUAJIRA | 43 |
| Diagnostico de los Departamentos del Caribe | 57 |
| 4.2 SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA..... | 59 |
| 4.3 LA GUAJIRA | 71 |
| 4.4 MAGDALENA..... | 85 |
| 4.5 ATLÁNTICO | 99 |
| 4.6 BOLIVAR | 111 |
| 4.7 SUCRE | 127 |
| 4.8 CÓRDOBA | 141 |
| 4.9 ANTIOQUIA | 153 |
| 5. DIAGNÓSTICO REGIONAL COSTA PACÍFICA | 167 |
| 5.1 FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN | 171 |
| Diagnostico de los Departamentos del Pacífico | 175 |
| 5.2 CHOCÓ..... | 177 |
| 5.3 VALLE DEL CAUCA | 187 |
| 5.4 CAUCA..... | 199 |
| 5.5 NARIÑO | 211 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 223 |

RESUMEN EJECUTIVO

El informe “Diagnóstico Nacional de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras” presenta los resultados del análisis de Monitoreo REDCAM en la época lluviosa de 2010 y la seca de 2011. La información aquí contenida, tiene como objetivo suministrar información que permita a las Entidades del Sistema Nacional Ambiental identificar riesgos potenciales de contaminación al medio ambiente marino-costero y tomar las medidas pertinentes para la conservación o recuperación de las zonas afectadas. El diagnóstico muestra que principalmente los parámetros de calidad microbiológica superan los límites recomendados para la salud humana y la conservación de ecosistemas marinos, en algunas playas turísticas; también se observan niveles altos de nutrientes y de temperaturas en las áreas coralinas del Caribe que tienen impacto potencial sobre la salud de éstos ecosistemas; y en algunos sitios, concentraciones de hidrocarburos que superan los valores de referencia.

En el momento del monitoreo, la calidad de las aguas en varias playas turísticas no fue adecuada para actividades de contacto primario, según la legislación colombiana. Este deterioro puede causar riesgo a la salud humana y afectar los beneficios económicos, culturales y sociales de las poblaciones circundantes. En el análisis por departamento, se encontró que en el Magdalena, y San Andrés y Providencia, el 11% de las playas no estuvieron aptas para actividades recreativas, en Bolívar el 8%, en Nariño el 10%, en Choco el 29%, y en Córdoba el 30%. En los departamentos de la Guajira (40%), Atlántico (58%), Valle de Cauca (60%), Sucre (72%) y Antioquía (100%) se encontró el mayor porcentaje de playas no aptas para actividades turísticas. La principal causa del deterioro es el aporte de las aguas residuales a la zona costera, debido principalmente al bajo nivel de sistemas de tratamiento.

En su mayoría los asentamientos costeros no alcanzan en promedio el 30% en cobertura de alcantarillado y son muy pocos los municipios que tienen sistemas de tratamiento de aguas residuales, como Santa Marta, Cartagena y San Andrés que cuentan con tratamiento básico (emisarios para la dilución de las aguas servidas); y Barranquilla, Arboletes, Necoclí, Turbo y San Juan de Urabá que utilizan tratamiento secundario para la eliminación de contaminantes microbiológicos.

El vertimiento de las aguas residuales sin tratamiento en la zona costera representa un riesgo para la salud humana y la conservación de los ecosistemas marinos, no solo por la presencia de microorganismos, sino por las altas concentraciones de sólidos y nutrientes y los bajos niveles de oxígeno disuelto debidos a la degradación de materia orgánica, resultando en niveles de oxígeno por debajo del límite permisible establecido por la Legislación Colombiana (Decreto 1594 de 1984), como fue el caso en algunas estaciones en 8 de los 12 departamentos costeros.

Además de la entrada de aguas residuales, la escorrentía desde las zonas agrícolas y ganaderas cercanas aumenta las descargas de sedimentos y nutrientes (nitrógeno y fósforo) al medio marino afectando negativamente los arrecifes coralinos. Los corales forman la base alimentaria de sus ecosistemas costeros y dependen de la penetración de la luz en la columna de agua, por lo tanto, los aportes altos de sedimentos y nutrientes que llegan al mar, incrementan la actividad fitoplanctónica y la turbidez, disminuyendo la penetración de la luz y favorecen el crecimiento de las macroalgas bénticas que compiten con los corales por espacio. Los resultados del monitoreo muestran que las mayores concentraciones de sedimentos y nutrientes se registraron en las aguas costeras de los departamentos de Bolívar, Atlántico, y Antioquia, debido a los aportes del Río Magdalena y su brazo el Canal del Dique y los ríos del Golfo de Urabá.

Además del aumento en la concentración de nutrientes y sedimentos, la temperatura del agua puede afectar la salud de los arrecifes coralinos. Los resultados del Monitoreo 2010 – 2011 mostraron un aumento de la temperatura del agua en las estaciones del Parque Tayrona (Magdalena) y las islas de San

Bernardo (Sucre), alcanzando valores por encima de los 30°C, que se utiliza como referencia para riesgo de blanqueamiento.

El análisis de contaminantes del tipo hidrocarburos derivados del petróleo, mostró que en varias estaciones de los departamentos de Valle de Cauca, Sucre y Córdoba las concentraciones superaron el valor de referencia para aguas contaminadas propuesto por la UNESCO (10 µg/L). Aunque este impacto se limita a zonas puntuales, estos resultados muestran la necesidad buscar estrategias de mitigación de los impactos o riesgos potenciales de las actividades que generan estos residuos. La contaminación por hidrocarburos es antropogénica y proviene tanto de los afluentes de la zona y de asentamientos humanos, como del tráfico marítimo y las actividades petroleras.

En cuanto a los metales pesados cromo (Cr), cadmio (Cd) y plomo (Pb), en la gran mayoría de las estaciones, las concentraciones estuvieron por debajo de los límites de detección de la técnica analítica. En aquellas estaciones donde fueron detectables, las concentraciones no superaron los valores de referencias para efectos agudos de la NOAA (Cd: 40 µg/L y Pb: 210 µg/L), y del límite máximo permisible de la legislación de Brasil (Cr: 50 µg/L), con excepción de algunas estaciones de la Bahía de Cartagena, en las cuales persisten concentraciones de Cr y Pb hasta tres veces por encima de los valores de referencia utilizados, como consecuencia de la diversidad de actividades industriales y económicas que se llevan a cabo en la zona y los aportes del Canal del Dique.

Con el propósito de integrar la información y hacer una aproximación sobre la calidad de aguas marino-costeras del país, se usó un índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM), que mediante una fórmula matemática integra los parámetros monitoreados. La aplicación del índice muestra que las áreas con mayores problemas de calidad de sus aguas se encuentran a lo largo de la costa caribeña sur-oeste, entre el Golfo de Urabá (Antioquia) y Golfo de Morrosquillo. Sin embargo, cabe destacar que en todas las áreas marinas y costeras de Colombia hay problemas específicos de la calidad de agua, destacando la necesidad de desarrollar estrategias de manejo de los recursos hídricos, fuentes de contaminación y las zonas costeras.

INTRODUCCIÓN

Colombia es el único país de Sur América que tiene costas sobre el Mar Caribe y el Océano Pacífico, por cuanto las zonas marinas y costeras ocupan cerca del 50% del territorio nacional, conteniendo ecosistemas de incalculable valor en términos naturales y económicos. El Ministerio del Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), preocupado por la necesidad de proteger estos ambientes, formuló la Política Nacional para el Desarrollo Sostenible de los espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia. En el marco de esta política y en asociación con la Comisión Colombiana del Océano, en el marco de su Política Nacional del Océano y Espacios Costeros, formularon el Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de las Fuentes Marinas y Terrestres de Contaminación al Mar (PNICM), dentro de cuyos objetivos está “*Evaluar los efectos de actividades humanas sobre los ecosistemas marinos y costeros, con miras a disponer en forma permanente de un diagnóstico actualizado de las condiciones ambientales*”. A través de la Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras - REDCAM, se ha venido haciendo seguimiento permanente de la calidad de las aguas marinas y costeras y se ha mantenido el Diagnóstico Nacional actualizado.

La REDCAM inició sus actividades hace 10 años, bajo el liderazgo del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –INVEMAR, y se ha sostenido con recursos provenientes del MADS, contando para su ejecución con el apoyo logístico y en algunos casos financiero, de las entidades que actúan como nodos del sistema REDCAM, entre las que se cuentan las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR) de los doce departamentos costeros, algunos Departamentos Administrativos del Medio Ambiente, otros Institutos de Investigación, y en el año 2011 de dos Universidades del Caribe, la Universidad de la Guajira y el Tecnológico Comfenalco de Cartagena.

Desde el año 2010, el MADS empieza a concebir el concepto de gestión integral del recurso hídrico – GIRH, basándose en la idea de que los diferentes usos del recurso son excluyentes e interdependientes y promulga la Política para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) (MAVDT, 2010) que busca orientar el desarrollo de políticas públicas para Colombia en materia de recursos hídricos, a través de una conciliación entre el desarrollo económico, social y la protección de los ecosistemas y establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégicas para el manejo del recurso hídrico en el país, durante los próximos 12 años. El Diagnóstico Nacional Anual que se produce dentro del marco del sistema REDCAM, fue un insumo valioso para el Diagnóstico Nacional del Recurso Hídrico y se mantiene como un instrumento de seguimiento en la implementación de la Política.

El presente documento contiene el diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras de los litorales Caribe y Pacífico de Colombia entre el período lluvioso de 2010 y el período seco de 2011, atendiendo a los compromisos internacionales y las metas de país que se canalizan en los lineamientos del PNICM, de la PNGIRH y del Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH, donde la REDCAM es soporte del Sistema de Información Ambiental para Colombia – SIAC y parte integral del Sistema de Información del Recurso Hídrico Marino (Decreto 1323/2007).

Este diagnóstico 2011 contiene el análisis de los resultados del monitoreo de las cerca de 350 estaciones de muestreo ubicadas en las zonas marino-costeras del Caribe y Pacífico colombiano, haciendo una descripción espacial y temporal del comportamiento de variables fisicoquímicas, microbiológicas y contaminantes (hidrocarburos del petróleo y metales pesados), en un contexto nacional, regional y departamental. Se muestra la actualización del inventario de las fuentes terrestres de contaminación con los aportes en términos de carga contaminante de los principales tributarios de las cuencas bajas que desembocan en el mar Caribe y océano Pacífico y se hace un análisis integral de las variables a partir de la estimación del Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras (ICAM) que si bien es una herramienta que

está en evaluación, permite cuantificar el estado de conservación o deterioro del agua marino-costera, de acuerdo al uso, bien sea para preservación de flora y fauna ó para actividades recreativas, náuticas y de pesca.

Generalidades



Muestreo para toma de muestras de agua en el río Manzanares – Magdalena



Toma de muestra del derrame de aceite de palma en la Bahía de Santa Marta

GENERALIDADES

1 ÁREA DE ESTUDIO

El monitoreo de calidad de aguas en el 2011 se desarrolló en 221 estaciones del Caribe, ubicadas estratégicamente en 1642 km de línea de costa en la parte continental y 52 km de costa insular de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Sucre, Bolívar, Córdoba, Antioquia y el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el Caribe (INGEOMINAS, 1998). En la región Pacífica se monitorearon 102 estaciones ubicadas en 1300 km de línea de costa en el litoral de los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Nariño y Cauca, incluidas la isla de Gorgona que es un área protegida de importancia única, ya que alberga ecosistemas estratégicos y escasos en el Pacífico Oriental Tropical como los arrecifes coralinos (Posada y Guzmán, 2007). Las estaciones de muestreo definidas en REDCAM incluyen sitios de interés y representativos de cada departamento como estuarios, ciénagas, playas y la cuenca baja de los principales ríos que drenan al mar Caribe y al Océano Pacífico (Figura 2.1-1) clasificadas como aguas fluviales, estuarinas y marinas.

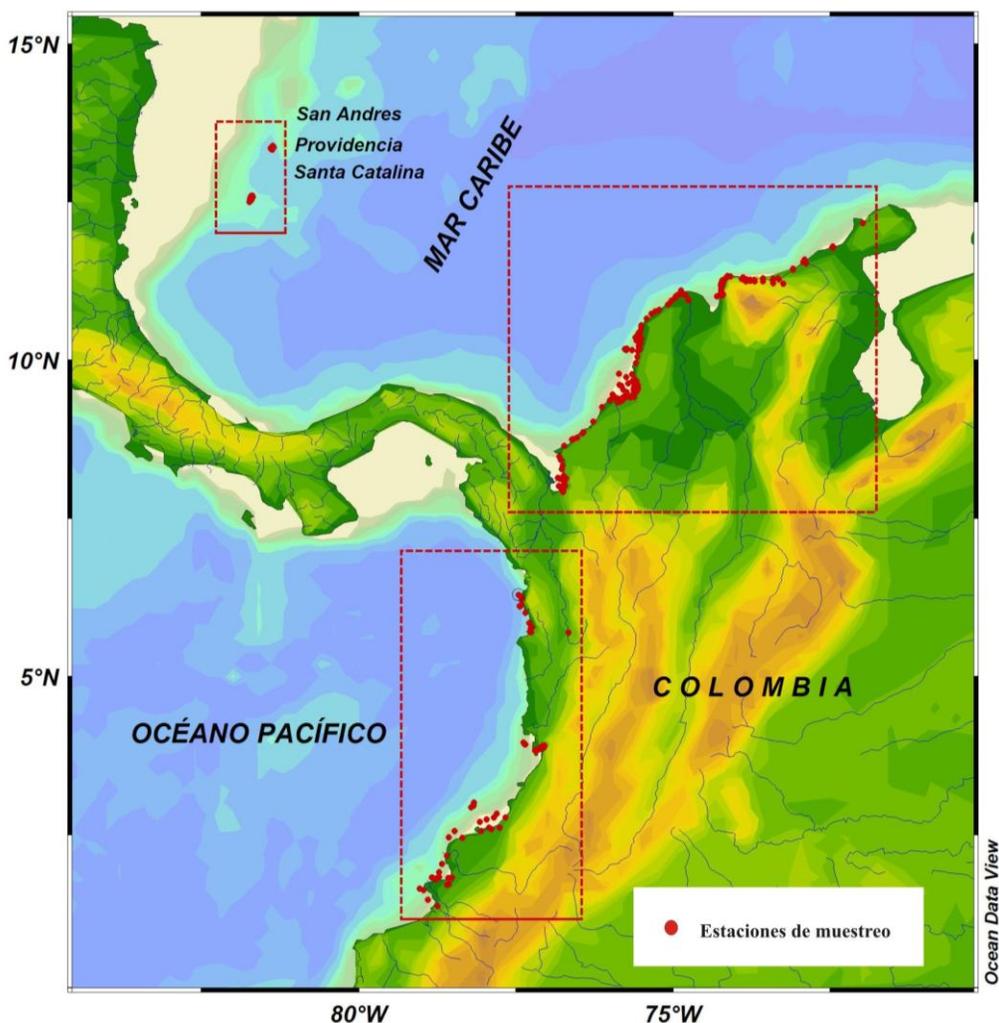


Figura 2.1-1. Estaciones definidas en los sitios de muestreo de la REDCAM en las diferentes zonas costeras de Colombia.

2 METODOLOGÍA

2.1 FASE DE CAMPO Y LABORATORIO

En el 2011 se realizaron dos campañas de muestreo una en época seca entre febrero y junio, y la otra en temporada de lluvias entre agosto y noviembre. Los muestreos se hicieron de forma coordinada entre las corporaciones costeras y el INVEMAR de acuerdo al área de cada jurisdicción, pero en el caso de San Andrés, Bolívar, Antioquia y Valle del Cauca, las mismas corporaciones hicieron el muestreo de manera autónoma. En las salidas de campo se midieron las variables *in situ* (temperatura, salinidad, conductividad, oxígeno disuelto, pH, entre otras) y se recolectaron las muestras de agua para los análisis en el laboratorio (Tabla 2.1-1), que son realizados por el laboratorio de Calidad Ambiental Marina de INVEMAR – LABCAM y los laboratorios de CORALINA, CVC, CARDIQUE y CORPOURABÁ que poseen la logística, equipos y profesionales especializados para analizar este tipo de muestras ambientales.

En general, los análisis de laboratorio se realizaron siguiendo las metodologías estandarizadas que se describen en el Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-químicos y Contaminantes Marinos (Garay *et al.*, 2003a), que contiene técnicas y procedimientos referenciados en el libro “*Métodos de Referencia Estándar*”, los manuales de referencia de la UNESCO, guías del PNUMA y el manual de Strickland y Parsons (1968) utilizados internacionalmente ya que sus conceptos técnicos aun se mantienen vigentes. Aunque cada laboratorio tiene sus propias metodologías de análisis implementadas, a manera de ejemplo se presentan las técnicas empleadas en Invemar.

Tabla 2.1-1. Listado de las variables mínimas monitoreadas, métodos de análisis y unidades de medida en la REDCAM

| Tipo Variable | Nombre Variable | Método | Unidades medida |
|----------------------------|---|---|-----------------|
| Fisicoquímicas | Salinidad | Electrométrico | |
| | Conductividad | Electrométrico | mS/cm |
| | pH | Potenciométrico | Unidad |
| | Oxígeno disuelto | Membrana permeable | mg/L |
| | % Saturación de Oxígeno | | % |
| | Temperatura | Electrométrico | °C |
| | Transparencia secchi | Disco Secchi | m |
| | Sólidos Suspendidos Totales | Gravimetría | mg/L |
| | Turbidez | Nefelométrico | NTU |
| Plaguicidas organoclorados | Amonio, Nitritos, Nitratos, Fosfatos | Colorimetría | µg/L |
| | Hexaclorociclohexano total, Aldrín, Heptacloro, Organoclorados totales, Sumatoria DDT y sus metabolitos Diuron, Diazinon, Clorotalonil, Metil | Cromatografía de gases | ng/L |
| Plaguicidas de uso actual | Paration, Bromacil, Clorpirifos, Fenamifos, Cis-Permetrina y trans-Permetrina | Cromatografía de gases | ng/L |
| Hidrocarburos | Hidrocarburos aromáticos disueltos y dispersos | Fluorimetría | µg/L |
| Metales Traza | Cadmio | Espectrometría de absorción atómica con | µg/L |
| | Cromo | horno de grafito (EAA) | µg/L |
| | Plomo | | µg/L |
| Microbiológicos | Coliformes fecales y totales, | Número más probable | NMP/100 mL |
| | Enterococos fecales | Filtración por membrana | UFC/ 100 |

2.1.1 Nutrientes

Los nutrientes medidos son compuestos disueltos inorgánicos de nitrógeno y fósforo, los cuales se miden por metodologías de colorimetría. Entre los compuestos de nitrógeno, se analizan los compuestos amonio (nitrógeno amoniacal, NH_4), nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3); la suma de estos compuestos se representa con el término Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID), una medición utilizada en los análisis de este informe debido a que todos los diferentes compuestos de NID (siendo NH_4 , NO_2 , NO_3) son disponibles para asimilación en el proceso de fotosíntesis (producción primaria) y pueden causar eutrofización, dando importancia a la suma de los compuestos (NID) en la evaluación del riesgo potencial de eutrofización. El compuesto de fósforo medido es fosfato (PO_4) que técnicamente se llama fósforo reactivo soluble (FRS) debido a que la medición del parámetro integra todo el fósforo que sea reactivo y suficiente minúsculo para pasar un filtro de 0.45 μm , incluyendo en la gran mayoría los ortofosfatos que son compuestos inorgánicos disueltos pero también unas fracciones particuladas menos que 0.45 μm en tamaño y varios poli-fosfatos disueltos (Brodie y Mitchell, 2005). Todas las concentraciones de nutrientes se expresan con respecto a la masa del elemento (N o P) en lugar de la masa del compuesto completo.

2.1.2 Indicadores de contaminación microbiológica

En Colombia las condiciones de contaminación microbiana se miden con indicadores de contaminación fecal como los “*Coliformes fecales o termotolerantes*”, según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984) que sigue vigente aunque ya se expidió el decreto 3930 de 2010 que busca actualizar los criterios de calidad. De igual manera se utilizan los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003) para “*Enterococos*” que se usan ampliamente como grupos de elección para determinar la calidad microbiológica de cuerpos de agua.

La determinación de Coliformes totales y termotolerantes (fecales), utiliza el método del recuento indirecto por tubos múltiples de fermentación expresado en el Número Más Probable (NMP) en 100 mililitros de agua, siguiendo las recomendaciones de métodos estándar (APHA/AWWA/ WEF, 2005) y el Decreto 1594/1984 que establece niveles permisibles en las aguas colombianas para la destinación del recurso hídrico con fines recreativos por contacto primario (p.e. la natación y el buceo), de máximo 200 NMP/100 mL Coliformes termotolerantes y 1000 NMP/100 mL Coliformes totales, y para contacto secundario (p.e. deportes náuticos y la pesca) un máximo de 5000 NMP/100 mL Coliformes totales.

Para el análisis de los *enterococos*, se han empleado las guías de la Organización Mundial de la salud, las cuales no establecen límites obligatorios, sino medidas de seguridad para un ambiente de aguas recreativas seguras, basados en múltiples estudios epidemiológicos y evaluaciones de riesgo de contraer enfermedad en dependencia del tipo de exposición, directa o indirecta (Tabla 2.1-2; OMS, 2003).

Tabla 2.1-2. Valores guía de enterococos fecales (IC 95%) para la calidad microbiológica de aguas marinas recreativas de acuerdo a la OMS (2003). EGI: Enfermedad Gastrointestinal; ERFA: Enfermedad Respiratoria Febril Aguda.

| Categoría | Concentración de enterococos fecales | Riesgo estimado por exposición |
|-----------|--------------------------------------|---|
| A | ≤ 40 UFC/100 mL | <1% de contraer EGI. <0,3% de contraer ERFA. |
| B | 41–200 UFC/100 mL | 1–5% de EGI. 0.3 a 1,9% de ERFA. |
| C | 201–500 UFC/100 mL | 5–10% de EGI. 1,9–3,9% de ERFA. |

| Categoría | Concentración de enterococos fecales | Riesgo estimado por exposición |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------------|
| D | >500 UFC/100 mL | >10% de EGI. >3,9% de ERFA |

Las categorías usadas: A – D están definidas de acuerdo al percentil 95; corresponden a la calidad microbiológica del agua marina, según la probabilidad de riesgo de contagio y a la concentración de enterococos.

El riesgo de exposición está determinado en relación a un grupo de no bañistas.

Los valores derivan de bañistas adultos sanos expuestos a aguas marinas con la temperatura del agua del norte de Europa.

2.1.3 Residuos de plaguicidas

Para los análisis de plaguicidas organoclorados y algunos de uso actual se siguió la metodología descrita en la Guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales: agua, suelos/sedimentos y biota del [PNUMA \(2008\)](#). El procedimiento consiste en la extracción de la muestra con diclorometano, una vez ajustado el pH y adicionado los estándares de recuperación. Los extractos orgánicos se concentran en rotavapor a ≈ 10 mL y se purifican en una columna de sílica-gel/alúmina utilizando 250 mL de diclorometano:hexano. La cuantificación se realizó en un cromatógrafo de gases asociado a un detector de espectrometría de masas (Shimadzu QP-2010S) operando en el modo SIM; con un sistema de inyección “split/splitless” con una columna capilar de 30 m de longitud x 0,25 mm de diámetro interno y una fase líquida HP5-MS de 0,25 μm de espesor, gas de arrastre Helio 5,0 a 1,0 mL/min, temperatura del inyector de 275°C e interface de 300°C; el programa de temperatura en el horno de: 60°C (1 min); 12°C/min hasta 150°C (0 min); 7°C/min hasta 230°C (3 min); 5°C/min hasta 265°C (0 min) y 20 °C/min hasta 300°C (4 min).

Los métodos analíticos estuvieron sujetos a procedimientos de control de calidad, en cada lote de análisis se incluyeron muestras de referencia (en el caso de organoclorados), blancos de reactivos y una serie de muestras fortificadas con cantidades conocidas de los analitos.

2.1.4 Hidrocarburos disueltos y dispersos

Las muestras de agua fueron tratadas, siguiendo los lineamientos establecidos en el manual de técnicas analíticas del INVEMAR ([Garay et al., 2003a](#)) y los manuales de la UNESCO (UNESCO/COI, 1984). El procedimiento se basó en dos extracciones sucesivas (Líquido – líquido) con n-hexano y una separación posterior de la fase orgánica. El extracto obtenido se limpió con sílica gel para eliminar interferencias y grasas.

Los hidrocarburos aromáticos totales (HAT) se midieron fluorométricamente en un Espectrofluorómetro Shimadzu RF-5301 PC. Los resultados se cuantificaron con base a una curva de calibración externa generada a partir de soluciones estándar de criseno; las lecturas se realizaron con longitudes de onda de excitación de 310 nm y de emisión de 360 nm.

2.1.5 Metales traza

Para el análisis de metales pesados en aguas se aplicaron los procedimientos descritos en “Manual de Técnicas Analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos” ([Garay et al., 2003a](#)). Cada muestra de agua se trató con APDC (Amonio pirrolidin ditiocarbamato) y MIBK (Metilisobutil cetona) para extracción selectiva de los metales, seguido de re-extracción en fase acida con HNO₃ 2N. El extracto acuoso resultante, se transfirió a un balón volumétrico de 25 mL, aforando con solución de HNO₃ 2N. La cuantificación de agua se realizó mediante la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica con llama en un equipo marca Shimadzu, AA 6300.

2.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN: BASE DE DATOS Y CARTOGRAFÍA

La gestión del sistema de información REDCAM permite mantener integrados, actualizados, organizados y centralizados los datos del monitoreo de calidad del recurso hídrico marino-costero de Colombia, acopiando toda la información de las instituciones miembro (nodos) de la Red, en un gran repositorio de datos ubicado el nodo central de Invemar. La ventaja del sistema es que cada nodo desde su departamento puede ingresar y consultar información de manera autónoma, porque está disponible en internet a través del portal del Invemar (www.invemar.org.co; Figura 2.2-1) y puede tener acceso a un escenario local, regional o nacional.

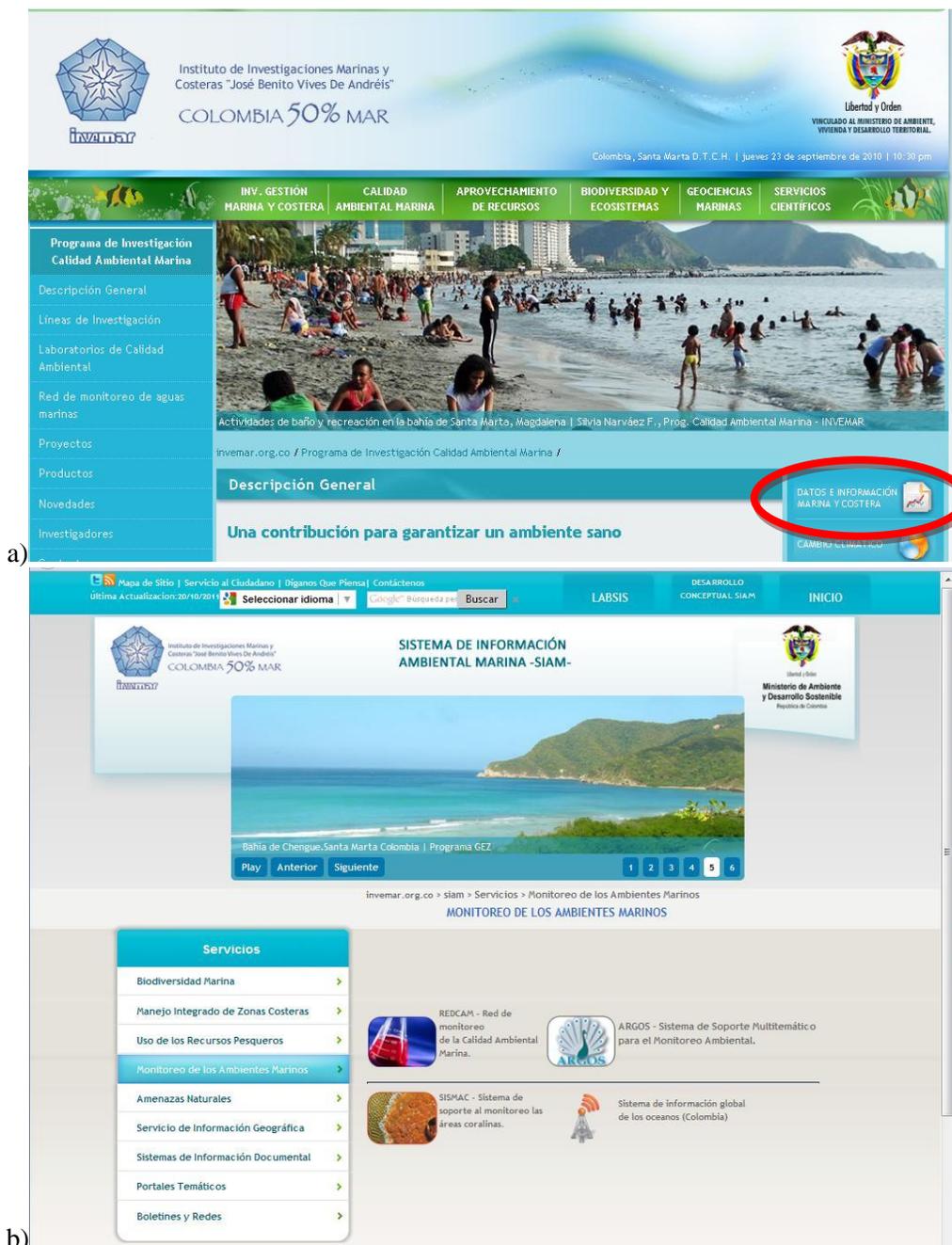


Figura 2.2-1. Página de acceso a los servicios del portal del Sistema de información ambiental marina (SIAM) de Colombia, donde se incluye la REDCAM.

Los resultados (datos) de las variables medidas durante las salidas de campo del 2011 y análisis de laboratorio fueron ingresados a la base de datos del Sistema de Información – REDCAM, después de ser organizados según la localización geográfica (estación de muestreo), fecha, tipo de agua, variable y un código único preestablecido en la base de datos, que sirve para recuperarlo fácilmente.

Esta información se puede consultar por la página www.invemmar.org.co, ubicando al lado derecho el link **Datos e Información Marina y Costera** (Figura 2.1-1a), o directamente desde el portal del Sistema de Información Ambiental Marina - SIAM (<http://siam.invemmar.org.co/siam/index.jsp>), allí se publicaron los diferentes servicios que ofrece el SIAM (Figura 2.1-1b), entre ellos el **monitoreo de los ambientes marinos**, donde está el enlace **REDCAM - Red de monitoreo de la Calidad Ambiental Marina** para acceder a los datos, estadísticas y cartografía dinámica en línea (Figura 2.2-2).

2.2.1 Servicios de información REDCAM

Los datos de 11 años de monitoreo se pueden consultar desde el portal SIAM con varias opciones que ofrece el sistema, como el listado de estaciones de muestreo, variables muestreadas, datos en forma de tablas estadísticas, gráficos, indicadores de calidad de aguas y mapas temáticos que muestran de forma sencilla la *calidad microbiológica de las playas* y *calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia* (Figura 2.2-2 y Figura 2.2-3). Adicionalmente, los usuarios nodos registrados en la REDCAM pueden actualizar y consultar datos puntuales de cada muestreo, accediendo con su contraseña al sistema (<http://siam.invemmar.org.co/siam/redcam/index.htm>).

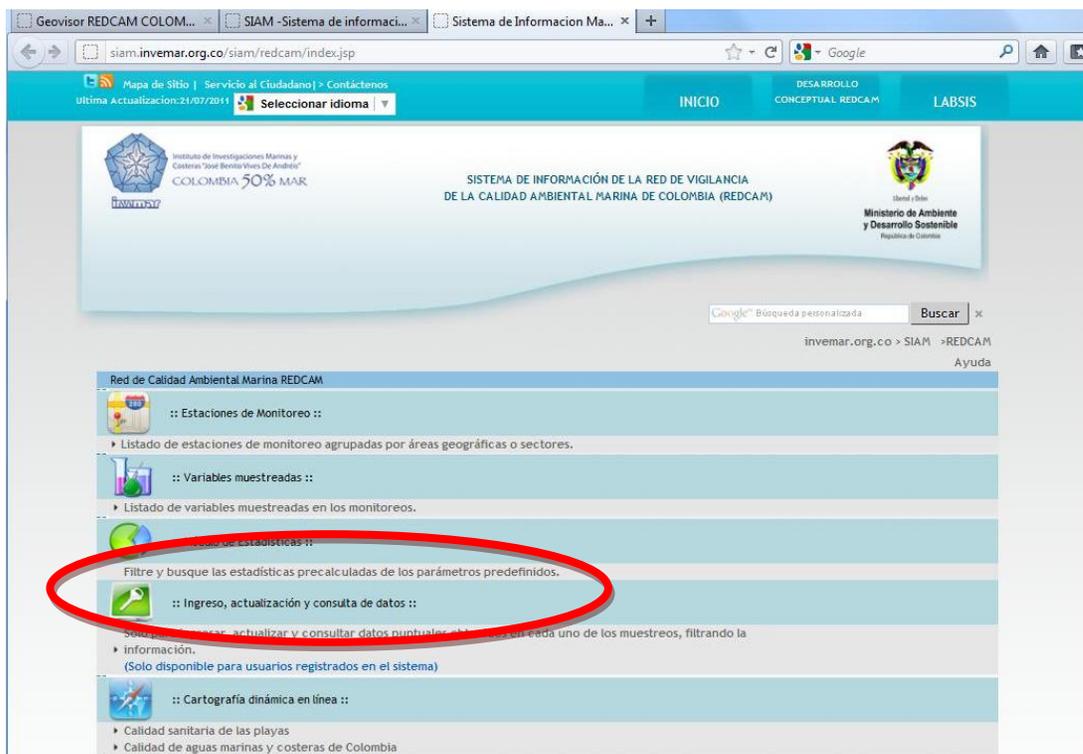


Figura 2.2-2. Actualización de los servicios y productos de información de la REDCAM

2.2.2 Crecimiento de la base de datos y actualización de los servicios del sistema REDCAM

El sistema de información en la actualidad (diciembre 2011) contiene 239873 registros de diferentes proyectos de calidad de aguas de 101 variables reportadas en 13293 conjuntos de muestras (entendidas como el muestreo puntual en una estación y en una fecha determinada) correspondientes a 11 años de monitoreo de la REDCAM, con datos históricos en las 1008 estaciones de muestreo que contiene la base de datos, recopilados en los 12 departamentos costeros del Caribe y Pacífico colombiano (Tabla 2.2-1).

Fecha última Actualización: 21/07/2011

Mapa de Sitio | Servicio al Ciudadano | Díganos que Piensa | Contáctenos

INICIO DESARROLLO CONCEPTUAL REDCAM LABSIS

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés" COLOMBIA 50% MAR

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LA RED DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD AMBIENTAL MARINA DE COLOMBIA (REDCAM)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible República de Colombia

Google™ Búsqueda personalizada Buscar x

Seleccionar idioma invemar.org.co > SIAM > REDCAM Ayuda

Red de Calidad Ambiental Marina REDCAM :: Consultas Estadísticas

Parámetros de Consulta:

Región: CARIBE

Departamento: ANTIOQUIA Sector: Ver estaciones >>

Tipo de variable: Hidrocarburos del petróleo Temporada: SECA

Rango de años: De: 2001 A: 2011

Limpiar Buscar >>

Figura 2.2-3. Consulta de datos y estadísticas en el Sistema de la Red Calidad Ambiental Marina – REDCAM.

Tabla 2.2-1. Crecimiento del Sistema de información de la REDCAM durante 11 años

| Año de operación | Estaciones de muestreo | Muestras analizadas | Registros almacenados | Total Variables |
|------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| 2001 | 276 | 361 | 4515 | 42 |
| 2002 | 412 | 1376 | 18114 | 53 |
| 2003 | 779 | 5164 | 109230 | 56 |
| 2004 | 826 | 5974 | 122590 | 56 |
| 2005 | 826 | 6860 | 137042 | 57 |
| 2006 | 976 | 8595 | 164173 | 57 |
| 2007 | 976 | 9229 | 173734 | 57 |
| 2008 | 981 | 10324 | 191230 | 57 |
| 2009 | 981 | 11282 | 208975 | 57 |
| 2010 | 999 | 13198 | 222684 | 101 |
| 2011 | 1008 | 13293 | 239873 | 101 |

De acuerdo a los registros de 2011 solo para REDCAM se reportó con relación al 2010 un crecimiento del 7 % de la base de datos; y en general el sistema está conformado por el 73,3 % variables fisicoquímicas, 12,2 % microbiológicas, 6,1 % plaguicidas organoclorados, 6,0 % metales traza, 2,0 % hidrocarburos del petróleo y el 0,4 % restante por las nuevas moléculas que se están midiendo de plaguicidas organofosforados, Uracil y piretroides

Actualización de los servicios de información

De acuerdo con el desarrollo de nuevas herramientas informáticas, desde el 2010 el sistema REDCAM viene actualizando los servicios de la cartografía dinámica del portal en el nuevo Geoservicio con el propósito de brindar a los usuarios una herramienta más operativa y amigable. El Geovisor REDCAM Colombia, ahora cuenta con una plataforma que muestra todos los departamentos continentales, costeros e incluye el mar territorial en una sola ventana.

Desde el 2011 el Geovisor está operativo y los usuarios tienen la posibilidad de visualizar toda Colombia en una sola vista, puede escoger sobre el mismo mapa la zona de estudio deseada, ya sea en una escala nacional, regional, departamental o local, y permita visualizar todas las capas de información en un solo mapa. A la cartografía base inicial del proyecto que se utilizaba y los datos históricos del monitoreo REDCAM, se le agregó información de cartografía existente de siete capas como otro Geoservicio que permite visualizar información sobre el *relieve continental*, *sistemas fluviales*, *coberturas terrestres*, *ecosistemas*, *áreas protegidas*, *unidades de suelos* y la *batimetría* (Figura 2.2-4).

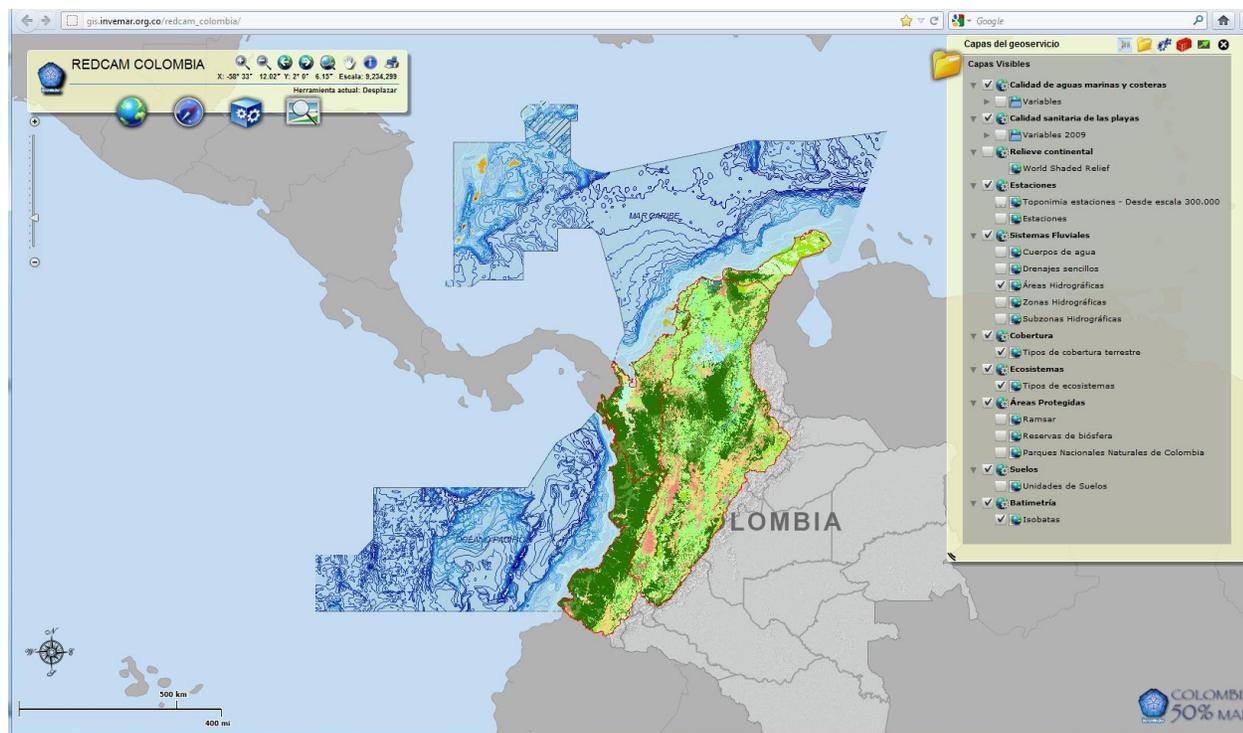


Figura 2.2-4. Geovisor REDCAM Colombia, mostrando las nuevas capas de diferentes coberturas e información.

De igual forma, se acoplaron los servicios de *calidad de aguas* donde se muestran todas las variables determinantes de la calidad del agua que monitorea la REDCAM y el servicio de *calidad sanitaria* donde se muestran los resultados de la calidad microbiológica del agua de baño en las playas de Colombia

(Figura 2.2-5), mediante los resultados de los coliformes termotolerantes y enterococos fecales como microorganismos indicadores de contaminación fecal establecidos en la normativa colombiana (Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud) y los valores guía de la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2003).

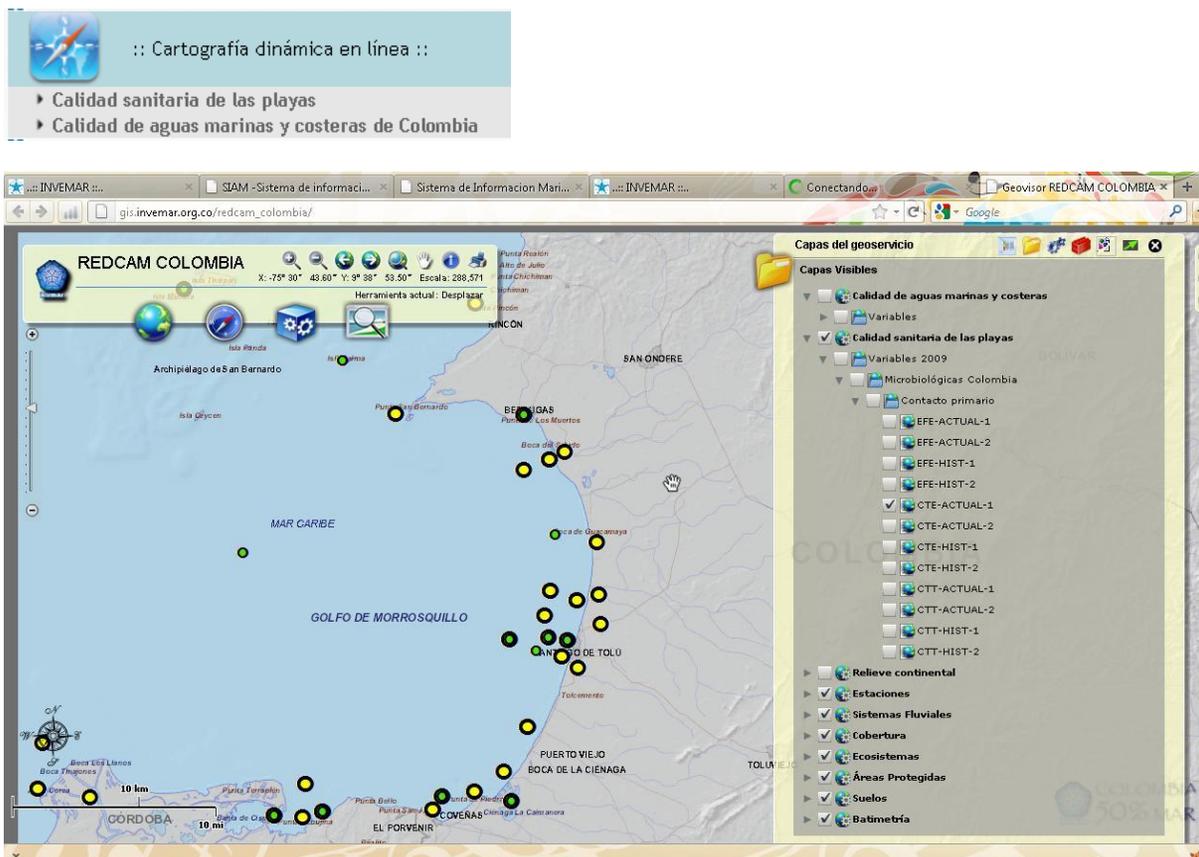


Figura 2.2-5. Cartografía dinámica de la calidad sanitaria de las aguas de recreación en Colombia.

Durante el 2011 se realizó una nueva propuesta del índice de calidad de aguas marinas (ICAM) con un nuevo enfoque metodológico de análisis, que utiliza 8 variables mínimas como las determinantes de la calidad del agua marino-costera, con un alcance nacional y regional atendiendo los requerimientos y lineamientos de la Red de información y datos del Pacífico Sur para el apoyo a la Gestión Integrada del Área Costera (SPINCAM, por sus siglas en inglés), y probó con los datos de la REDCAM. Los resultados de este nuevo indicador se pueden visualizar desde el portal del Sistema de Indicadores Ambientales Marinos y Costeros de Colombia http://siam.invemar.org.co/indicadores/ier_icam.jsp.

El nuevo índice formulado facilita la interpretación de la calidad del recurso hídrico marino y la estimación del riesgo potencial de las actividades antropogénicas, es decir, la capacidad que puede tener el cuerpo de agua para soportar la vida marina y los procesos biológicos. El índice se representa por medio de un número adimensional que simboliza la calidad del recurso hídrico marino, en forma de porcentaje (valores entre 0 y 100) y una escala de cinco categorías desde calidad óptima a pésima (Figura 2.2-6). El ICAM busca ser una herramienta sencilla en la gestión de la prevención de los cuerpos de agua marinos en Colombia, ya que valores relativamente bajos pueden ser interpretados como fuertes presiones sobre el entorno físico y natural circundante.



Figura 2.2-6. Visualización del portal del Atlas digital SPINCAM, mostrando el indicador de calidad de aguas marinas.

2.3 CURSO DE CAPACITACIÓN Y TALLER REDCAM 2011

Curso taller

Con el propósito de generar un espacio de capacitación para personal técnico relacionado con la operación de la REDCAM, sobre la actividad de monitoreo y su conexión con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), se realizó un curso-taller sobre “*Diseño de monitoreo y técnicas de muestreo en aguas marinas*”, en el marco de las actividades que realiza cada año el proyecto – REDCAM”, liderado por el Programa Calidad Ambiental Marina – CAM del INVEMAR.

El curso se desarrolló en dos etapas, una parte teórica en el Hotel EDMAR en el Rodadero – Santa Marta y la parte práctica se realizó en la Bahía de Santa Marta con una salida de campo, que contó con la participación de funcionarios de CARDIQUE, CARSUCRE, CRA, CORALINA, CODECHOCO, CVC, CORPOURABA, CORPAMAG, CVS, CRC, el EPA Cartagena, IDEAM, CIOH, MAVDT, de las Universidades de La Guajira, Magdalena, Tecnológico COMFENALCO Cartagena, del Valle a través de CINARA, e investigadores del Laboratorio de Calidad Ambiental del INVEMAR.

El objetivo del Curso fue socializar los criterios que se deben tener en cuenta para el diseño de sistemas de monitoreo y entrenar a los participantes en técnicas de muestreo en aguas marinas y con el fin de estandarizar los procedimientos empleados por los laboratorios participantes del proyecto REDCAM.

En el desarrollo del taller se discutieron las capacidades de cada laboratorio y se logró el entrenamiento del personal participante en clasificación de las redes de monitoreo, selección de variables, frecuencia del monitoreo y cantidad de muestras, geoposicionamiento espacial, y las técnicas básicas para la toma de muestras de aguas marinas en cuanto a equipos, materiales y procedimientos estandarizados.



Figura 2.3-1. Charla sobre diseño de redes de monitoreo e intercambio de experiencias entre los diferentes participantes.

Taller fortalecimiento de la REDCAM

En el segundo día 16 de septiembre se realizó un taller con dos propósitos:

El primero buscaba identificar una hoja de ruta para el fortalecimiento de la estrategia REDCAM en el marco de los requerimientos de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH). En este espacio se socializaron los logros que el proyecto se han alcanzado en los 11 años de trabajo del Programa de Monitoreo de la de la Calidad de las Aguas Marinas de Colombia – REDCAM, a través de una revisión detallada de los resultados positivos de cada objetivo específico reflejados en productos como los informes anuales, el Geovisor de datos de calidad, los mapas de fuentes de contaminación terrestre al medio marino y los procesos de capacitación. No obstante, se evidenciaron temas que se debe fortalecer como la evaluación de impactos en los ecosistemas marinos. Después en plenaria se discutió y se propuso entre los participantes del taller, las estrategias, proyectos y acciones que se deben implementar para fortalecer la REDCAM, teniendo en cuenta los temas de articulación institucional, gestión de la información, evaluación y seguimiento del recurso.



Figura 2.3-2. Ejercicio participativo para la formulación de estrategias futuras para el proyecto REDCAM.

En la segunda parte del taller el propósito era buscar un consenso sobre la metodología a considerar para la determinación de límites máximos permisibles de contaminación marina en las costas colombianas. Se socializaron los avances del proyecto "Desarrollo de fundamentos para el establecimiento de los Parámetros y los Límites Máximos Permisibles de los Vertimientos a las Aguas Marinas y Costeras en Colombia". Después de las presentaciones se generó un espacio de discusión y plenaria para evaluar las metodologías y estrategias para la determinación de límites máximos permisibles de vertimientos en aguas marinas, teniendo en cuenta los instrumentos propuestos e intercambio de experiencias en la que participaron los funcionarios de las entidades participantes.



Figura 2.3-3. Ejercicio de discusión y retroalimentación sobre las metodologías y estrategias para la determinación de límites máximos permisibles de vertimientos en aguas marinas.

Diagnóstico Nacional



Taller nacional de Fortalecimiento REDCAM, Santa Marta 2011



Islas del Rosario - Bolívar

3 DIAGNÓSTICO NACIONAL

La disponibilidad del recurso hídrico es cada vez menor, sea por disminución de su cantidad en zonas asequibles, costos de transporte y bombeo, o por la alteración de su calidad que hace su tratamiento más costoso. Es por ello que, el manejo del agua debe someterse a una serie de etapas que estén tanto en función de los usos y disponibilidad, como de las condiciones socioeconómicas, técnicas e institucionales de las regiones, es decir, en función de conocer el comportamiento de las características hidrológicas del sistema dadas por el aprovechamiento de los recursos hídricos en una cuenca o cuerpo de agua.

La situación hídrica nacional y los grandes cambios territoriales en torno a las políticas de desarrollo, que se han venido implementando en los últimos años en Colombia y al comportamiento socioeconómico actual frente al aprovechamiento del agua, en particular el agua marina; es oportuno disponer de un rigor tecnológico – técnico y científico para el manejo de este recurso, según sus diferentes usos. En especial para las regiones como ejecutoras de las políticas y responsables tanto del cumplimiento normativo como de la inversión para el logro de las metas de país. El programa de monitoreo de la Red de vigilancia REDCAM, con 11 años de operación, experiencias y lecciones aprendidas, también busca evolucionar para estar acorde con estos nuevos retos de país, coherente con los lineamientos y estrategias de la Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico (PNGIRH), a través de los resultados del diagnóstico nacional de la contaminación marina.

No se puede desconocer que las actividades socioeconómicas son indispensables en el desarrollo de las poblaciones, pero también se debe tener en cuenta que juegan un papel importante en la degradación de los recursos naturales, porque pueden modificar sus características. Debido al uso de los cuerpos de agua como vías de transporte, sumidero de residuos domésticos, agrícolas e industriales, reciben en mayor o menor grado el aporte de las cargas contaminantes, que pueden reducir la calidad del agua, a lo largo de las cuencas hidrográficas tributarias, ya que un 90% de los contaminantes es transportado por los ríos al mar, amenazando la salud humana y el funcionamiento natural de los ecosistemas marino-costeros (Escobar, 2002; Burton, 2003; UNEP - RCU/CEP, 2010).

Los 12 departamentos costeros de Colombia albergan 47 municipios, de los cuales 31 de ellos se localizan en el Caribe y 16 en el Pacífico. De acuerdo con el Censo General de 2005 y las proyecciones a 2011, la población de estos municipios asciende a 4.7 millones (11.9% del total nacional), donde la costa Caribe concentra el 83.2% y sus niveles de urbanización son superiores al promedio del país (el 81% y el 75%, respectivamente). El 16.8% restante de la población costera está en los municipios del Pacífico y sus niveles de urbanización son inferiores al promedio nacional (63%; DNP, 2007; DANE, 2011). Las actividades socioeconómicas y las diferentes prácticas del uso de la tierra en las partes altas y en las áreas costeras de estos departamentos, generan múltiples residuos contaminantes derivados de las fuentes puntuales y no puntuales que contribuyen con la contaminación del mar y los contaminantes que son transportados por los ríos, estuarios, canales y otros cursos de agua, incluyendo las filtraciones al mar y provenientes de flujos superficiales y subterráneos así como de los emisarios submarinos de aguas servidas.

De acuerdo a los resultados del inventario de fuentes terrestres que viene recopilando la REDCAM (Tabla 3-1; Figura 3-1), hasta el momento se han identificado las aguas residuales municipales, industriales y agrícolas como las de más incidencia e impacto directo sobre la zona costera y los ecosistemas marinos; debido a que la mayor parte de estos municipios vierte las aguas servidas directamente sobre cuerpos de agua superficial con insuficiente o nulo tratamiento (SSPD, 2009a). En la costa Caribe, las principales vías de entrada de contaminantes al mar provienen de las cuencas de los ríos Magdalena, Atrato y Sinú; y en el

Pacífico, aunque con una menor proporción la mayor carga contaminante la transportan los ríos San Juan, Mira y Patía.

Tabla 3-1. Actividades humanas, usos de la zona costera, fuentes terrestres de contaminación y contaminantes que afectan la calidad del agua en el Caribe y Pacífico Colombiano. Fuentes de información: CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CIOH, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCO, CORPOURABÁ, CVC, CRC, CORPONARIÑO e INVEVAR.

| Departamento | Fuentes, actividades humanas y tributarios | Residuos y contaminantes |
|--|--|--|
| San Andrés, Providencia y Santa Catalina | Dos asentamientos humanos costeros (San Andrés y Providencia), plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas (ARD), relleno sanitario y botadero a cielo abierto, pozos sépticos, explotación de acuíferos, actividad hotelera y turística intensiva, residuos sólidos, escorrentía superficial, planta eléctrica, transporte y tráfico marítimo, puertos y muelles, manejo de hidrocarburos, actividad pecuaria de pequeña escala, estaciones de servicio, mantenimiento de automotores, pequeños arroyos en las microcuencas de McBean, Baley y Fresh Water, los cuales aumentan sus caudales durante la temporada de lluvias. | Materia orgánica, nutrientes, aceites lubricantes, detergentes, microorganismos, residuos sólidos y aguas residuales domésticas. |
| La Guajira | Cuatro asentamientos humanos costeros (Riohacha, Dibulla, Manaure y Uribia), residuos sólidos, ARD, minería intensiva explotación y transporte de carbón, puerto carbonero (Puerto Bolívar), agricultura, termoeléctrica, transporte marítimo, estaciones de servicio, matadero de vacunos, alcantarillado de Riohacha, ríos Ranchería, Jerez, Cañas, Palomino, botaderos satélite a cielo abierto. | Materia orgánica, sólidos, agroquímicos, nutrientes microorganismos, residuos de carbón, aguas de sentinas, aceites y grasas, aguas térmicas hidrocarburos. |
| Magdalena | Cuatro asentamientos humanos costeros (Santa Marta, Ciénaga, Sitio Nuevo, Pueblo Viejo), actividad marítima y portuaria, transporte de carbón, transporte y manejo de hidrocarburos, agricultura (banano), actividad turística y hotelera, emisario submarino, relleno sanitario, ríos Manzanares, Gaira, Córdoba, Toribio, Buritaca, Don Diego, Guachaca, Piedras y Mendihuaca, además del sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta. | Materia orgánica, residuos sólidos, aguas residuales municipales, residuos de carbón, hidrocarburos, aceites lubricantes, microorganismos, sólidos en suspensión y disueltos agroquímicos. |
| Atlántico | Cinco asentamientos humanos costeros (Barranquilla, Puerto Colombia, Juan de Acosta, Piojó, Tubará), plantas de tratamiento de ARD, puerto fluvial, y marítimo, alcantarillado, relleno sanitario, aguas residuales domésticas, zona industrial vía 40 (metalúrgicas, químicas, farmacéuticos, cementeras, curtiembres, agroquímicos, procesadoras de alimentos y bebidas, textiles, etc), zona Franca, El río Magdalena recoge más del 70% de los desechos del país, con un alto arrastre de sedimentos y sustancias contaminantes. Las ciénagas de Mallorquín, Balboa y del Totumo son los principales cuerpos de agua de la zona costera del departamento. | Materia orgánica, residuos sólidos, nutrientes, desechos industriales, hidrocarburos, microorganismos, aceites lubricantes, sólidos en suspensión y disueltos agroquímicos. |
| Bolívar | Dos asentamientos humanos costeros (Cartagena y Santa Catalina), plantas de tratamiento de ARD, emisarios de emergencia, relleno sanitario, sector industrial de Mamonal y zona comercial de El Bosque, actividad marítima y portuaria, refinera, manejo de hidrocarburos, aportes de Canal del Dique. | Residuos sólidos, aguas residuales municipales, materia orgánica, arrastre de sedimentos, hidrocarburos, residuos oleosos, aceites y grasas, metales pesados, microorganismos, desechos industriales. |
| Sucre | Tres asentamientos humanos costeros (Tolú, Coveñas y San Onofre), 3 rellenos sanitarios con licencia ambiental (en Sincelajo, Corozal y Tolviejo) y un relleno manual en Sincé, minería (Piedra Caliza en Tolviejo y Palmito), actividad agropecuaria (arroz; pastos, coco, ganadería), maderera, fuentes municipales (aguas residuales domésticas, residuos sólidos), industria pesquera, camaronerías, zoológicos, actividad portuaria, terminal marítimo de Ecopetrol, muelle de Tolcemento, Zona de cargue de cemento y klinker, manejo y transporte de hidrocarburos, mataderos, estaciones de servicio. Aportes por corrientes naturales (Arroyos Pechelin, Villeros, Ciénaga la Caimanera, Caño Guainí, Zaragocilla, Guacamaya, Alegría). | Materia orgánica, sólidos en suspensión, agroquímicos, heces, residuos sólidos, aguas residuales, microorganismos, aguas de sentina, hidrocarburos, aceites y residuos oleosos, residuos de carbón, Klinker y yeso, metales pesados. |
| Córdoba | Cinco asentamientos humanos costeros (San Antero, San Bernardo del Viento, Moñitos, Puerto Escondido, Los Córdoba), pozos sépticos, basurero a cielo abierto, agricultura (arroz) y ganadería intensiva, distrito de riego de Moncarí y Montería, camaronerías, turismo, residuos sólidos, aguas residuales domésticas, aportes por el río Sinú. | Materia orgánica, agroquímicos, heces, residuos sólidos, aguas residuales, microorganismos, sedimentos, nutrientes. |

| Departamento | Fuentes, actividades humanas y tributarios | Residuos y contaminantes |
|-----------------|--|---|
| Antioquia | Cuatro asentamientos humanos costeros (Arboletes, San Juan de Urabá, Turbo y Necoclí), lagunas de oxidación, Residuos sólidos, aguas residuales domésticas, actividad portuaria en Turbo, cultivo de banano, aportes por corrientes naturales (Río Atrato), minería de oro, aportes de los ríos Caimán, Turbo, León y Atrato. | Materia orgánica, nutrientes, agroquímicos, plaguicidas, sólidos suspendidos, microorganismos, hidrocarburos, mercurio, sedimentos, residuos líquidos y sólidos |
| Chocó | Siete asentamientos humanos costeros (Acandí, Ungía, Triganá y Capurganá en el Caribe; Juradó, Bahía Solano, Nuquí, Bajo Baudó, San Juan en el Pacífico), minería de oro, turismo, transporte de pequeñas embarcaciones, actividad portuaria de menor escala, turismo, industria maderera, estaciones de servicio, comercio de combustible, aportes de los ríos San Juan, Valle, Nuquí, Jella y la quebrada Chicolatal. | Microorganismos, materia orgánica, nutrientes, agroquímicos, hidrocarburos, aguas residuales domésticas, residuos sólidos, plaguicidas, aceites usados, alquitranes para la inmunización de la madera, mercurio. |
| Valle del Cauca | Un asentamiento humano costero (Buenaventura), botadero a cielo abierto, actividad marítima y portuaria intensiva, Muelle petrolero, manejo y transporte de hidrocarburos y derivados del petróleo, industria maderera, pesquera, lixiviados, alcantarillado, emisarios de emergencia, turismo en La Bocana, Juanchaco y Ladrilleros, aportes de los ríos Anchicayá, Potedó, Raposo, Dagua, pequeños cultivos de pancoger, chontaduro y coco (Dagua). | Microorganismos, materia orgánica, residuos sólidos, sólidos, nutrientes, aguas residuales domésticas, desechos del procesamiento de productos pesqueros, plaguicidas, hidrocarburos, metales pesados, residuos oleosos, aguas de sentinas y slops. |
| Cauca | Tres asentamientos costeros (López, Timbiquí y Guapi), fuentes municipales, sistema de saneamiento básico precario, minería de oro, agricultura, aserríos, cocoteras, trapiches artesanales, industria maderera, producción de harina de pescado, almacenamiento y expendio de combustible, aportes de los ríos Timbiquí, Bubuey, Micay, Saija, Guajui y Guapi. | Microorganismos, materia orgánica, residuos sólidos, lixiviados, sólidos suspendidos, metales, nutrientes, agroquímicos, pesticidas, aceites y grasas, residuos de madera, aserrín, bagazo de caña, sedimentos. |
| Nariño | Siete asentamientos humanos costeros (El Charco, La Tola, Mosquera, Olaya Herrera, Santa Bárbara, Francisco Pizarro, San Andrés de Tumaco), fuentes municipales, alcantarillado, sistema de saneamiento básico precario, minería, agricultura (palma aceitera, coco), ganadería, transformación madera, industria pesquera, mataderos, camaronerías, extracción de material de arrastre de ríos, actividad marítima y portuaria, transporte de petróleo, aportes de los ríos Mira, Mejicano, Chagui, Rosario, Mira, iscuandé, Patía, Tapaje, Mataje y La Tola) | Residuos líquidos y sólidos, materia orgánica, aguas residuales (palma, camarones, productos pesqueros) estopa de coco, heces, sólidos en suspensión, microorganismos, nutrientes, hidrocarburos, derivados de petróleo, aguas de sentinas, agroquímicos, plaguicidas, aceites y grasas, residuos de madera, aserrín. |

El volumen de aguas residuales domésticas (ARD) dispuestas por los 4.7 millones de habitantes de estos 47 municipios, se calculó en 702939 m³/día (Mendesarrollo, 2000a; UNEP-RCU/CEP, 2010), de las cuales un alto porcentaje se dispone con vertidos al suelo (pozas sépticas), por flujos superficiales o subterráneos como emisarios submarinos, o en cuerpos de agua superficial cercanos como lagunas costeras, esteros o al mar, afectando la calidad del recurso hídrico y sus ecosistemas (Garay y Vélez, 2004; Vivas-Aguas *et al.*, 2010). Esta problemática depende del sistemas de tratamiento y disposición de ARD que exista en cada población; pero si ésta infraestructura no existe, se convierten en una situación compleja, que se ve generalizada tanto del Caribe como en el Pacífico, debido a que son pocos los que superan el 30% en cobertura de alcantarillado (Figura 3-2) y son muy pocos los municipios que tienen sistemas de tratamiento de aguas residuales (SSPD, 2009a),

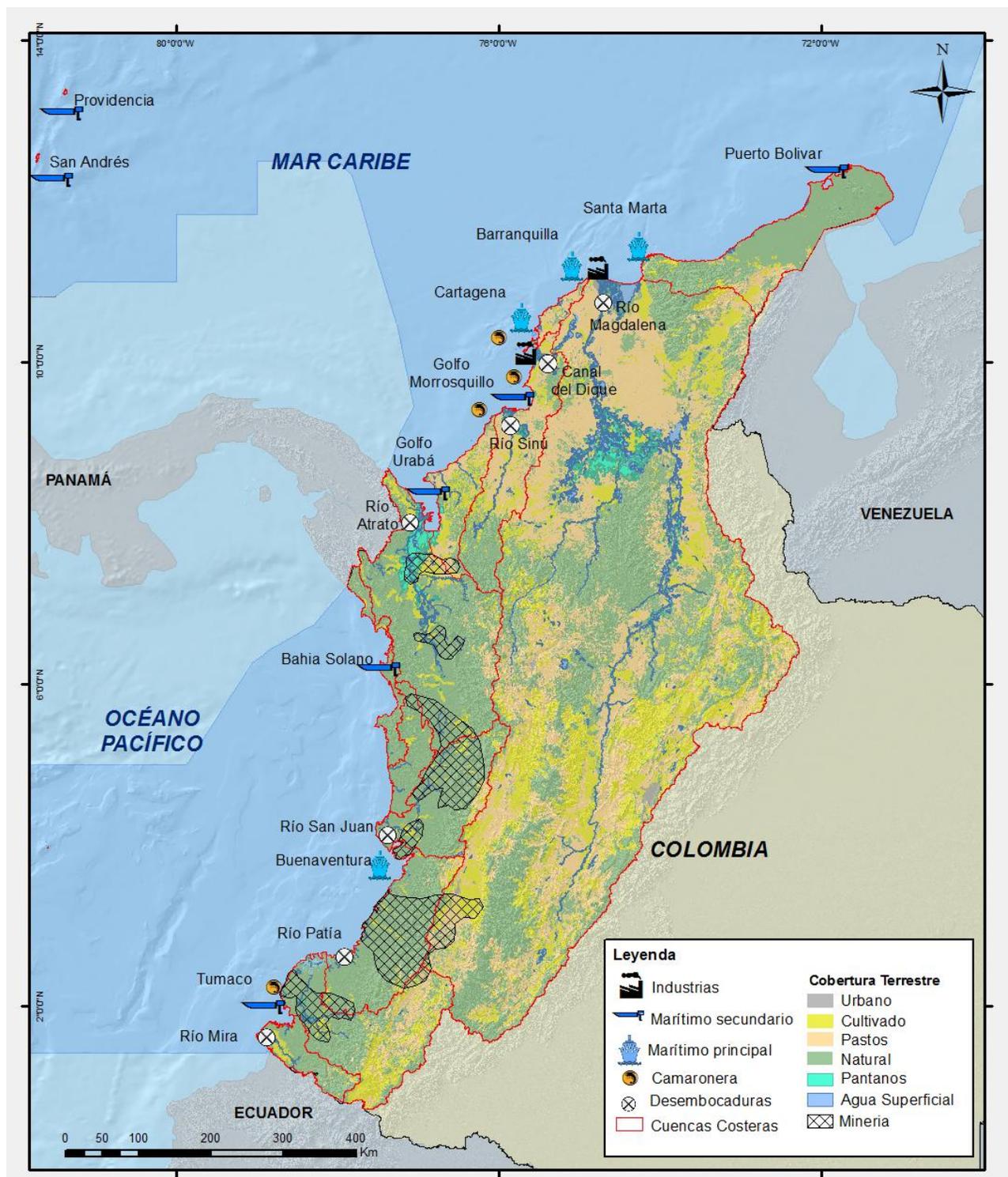


Figura 3-1. Principales fuentes terrestres de contaminación a las aguas marinas y costeras de Colombia. Fuente: IGAC, 2002; Supertransporte, 2008; DANE, 2009a.

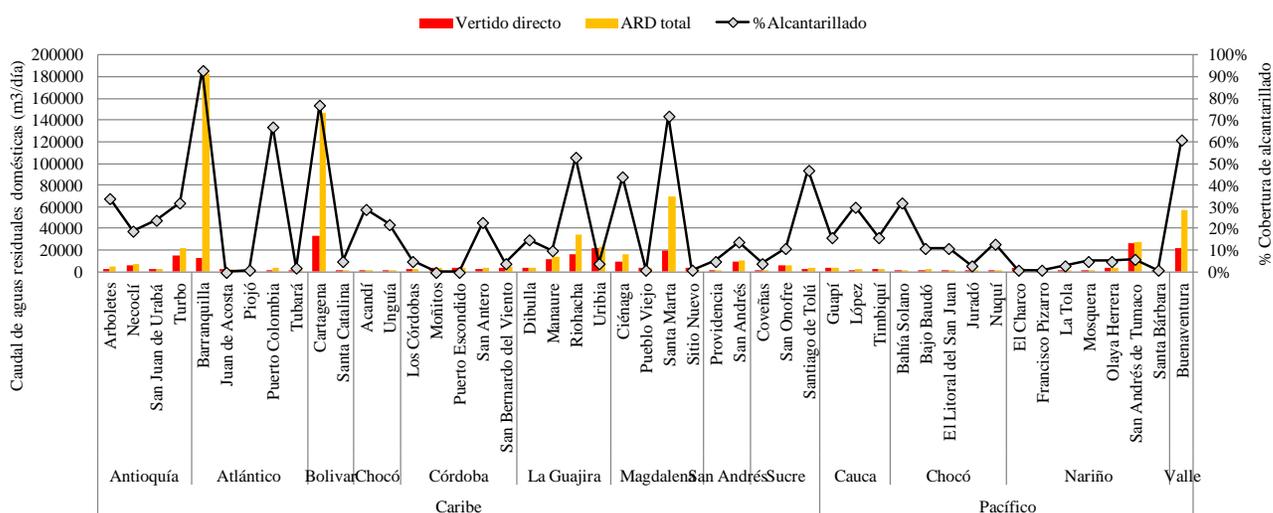


Figura 3-2. Caudal estimado de vertido de aguas residuales domésticas y distribución de la cobertura de alcantarillado en los municipios costeros del Caribe y Pacífico colombiano, es de resaltar los picos en grandes centros urbanos con respecto a municipios de menor desarrollo socioeconómico. Fuente caudal: cálculo Inveemar, metodología RAS-2000. Fuente población y cobertura alcantarillado: Censo General 2005 proyecciones DANE 2011.

La estimación de las cargas domésticas provenientes de los municipios costeros para el 2011 fue de 35514 t/año de materia orgánica en términos de DBO₅, y de 71.028 t/año en términos de DQO; 8.523 t/año de nitrógeno; 568 t/año de fosfatos; y 35.514 t/año de sólidos suspendidos totales. Las mayores cargas de contaminantes domésticos son producidas por el municipio de Barranquilla que genera 21784 t/año de DBO₅, 43569 t/año de DQO, 5228 t/año de nitrógeno, 21784 t/año de sólidos suspendidos y 349 t/año de fósforo total y 8.7E+19 NMP/año de coliformes de contaminación fecal; en orden de importancia le siguen Cartagena, Santa Marta y Buenaventura.

La mayor parte de estos contaminantes llegan al mar a través de los ríos y por las escorrentías provocando importantes efectos en los estuarios y ecosistemas costeros (Escobar, 2002; Restrepo y Kjerfve, 2004). Por ello, la importancia de monitorear en la REDCAM las cuencas bajas de los ríos que desembocan en las zonas costeras del Caribe y Pacífico colombiano (Figura 3-3). En el 2010, 41 ríos evaluados aportaron en total 18181 m³/s de aguas cargadas con diferentes residuos y sustancias contaminantes (Tabla 3-2), que en conjunto vierten cerca de 175 mil toneladas al año de nitrógeno inorgánico, 18181 t/año de fósforo inorgánico, 378 t/año de hidrocarburos disueltos, 1E+08 ton/año de sólidos en suspensión y 8E+21 NMP/año microorganismos de contaminación fecal, es de resaltar que el 2010 fue un año con altas precipitaciones por efecto de “La Niña”, que ocasionaron inundaciones y deslizamientos en la cuenca baja de los ríos.

Los resultados de las mediciones de 2010 mostraron que los ríos Magdalena, Atrato (Matuntugo) y Sinú en el Mar Caribe, y el Atrato (Quibdó), San Juan, Mira y Micay en el Océano Pacífico, son los tributarios más importantes por las amplias áreas de drenaje de sus cuencas (Figura 3-1), su caudal (Figura 3-3) y las descargas de contaminantes a las aguas costeras (Tabla 3-2). En términos de carga, los mayores aportes de nitrógeno inorgánico se presentaron los ríos San Juan que descargó 71372 t/año, el Magdalena que descargó 33423 t/año y el Atrato con 18830 t/año en la estación de Quibdó y 17011 t/año en la estación de Matuntugo, estos tributarios tiene una amplia área de cuenca, mayor arrastre de sedimentos, y una alta oxidación anaeróbica de la materia orgánica (Restrepo *et al.*, 2005).

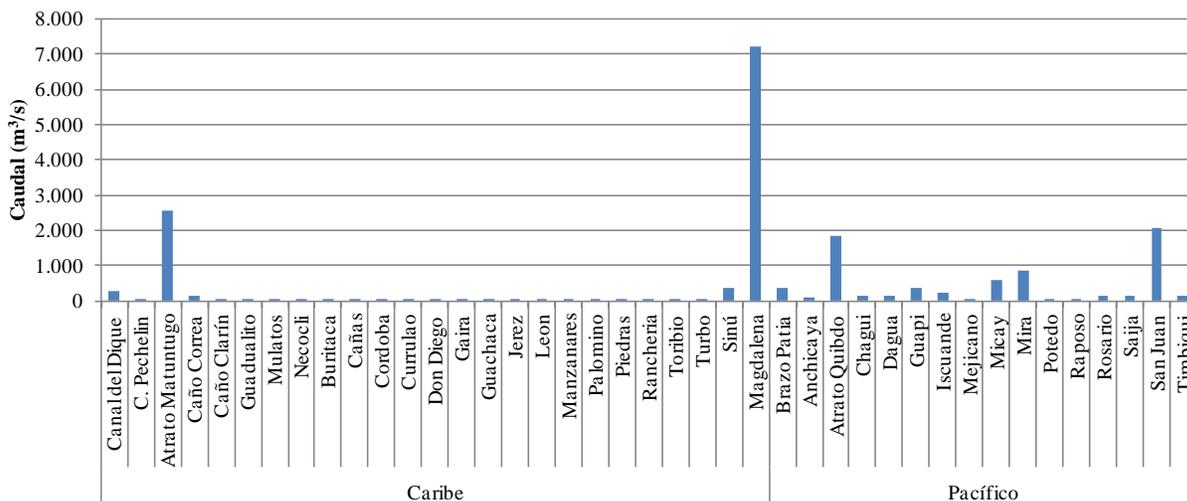


Figura 3-3. Caudal (m³/s) de descarga de aguas de 41 tributarios y corrientes que drenan al Mar Caribe y al Océano Pacífico colombiano. Fuente: IDEAM, 2007; Restrepo y Kjerfve, 2004; Garay *et al.*, 2006.

Tabla 3-2. Caudal promedio y carga anual estimada de contaminantes aportada por los principales tributarios que desembocan en el litoral Caribe y Pacífico Colombiano en el 2010. HDD: hidrocarburos del petróleo, NT: nitrógeno inorgánico (amonio, nitritos y nitratos), PO₄: ortofosfatos, SST: sólidos suspendidos, CTE: coliformes termotolerantes, CTT: coliformes totales; DBO: demanda bioquímica de oxígeno. Fuente caudal: IDEAM, 2007; Restrepo y Kjerfve, 2004; Garay *et al.*, 2006; Fuente concentraciones: Base de Datos REDCAM, INVEMAR 2011a.

| Departamento | Corriente | Caudal | NT | PO ₄ | DBO | HDD | SST | CTE | CTT |
|---------------|------------------|-------------------|--------------|-----------------|---------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| | | m ³ /s | t/año | t/año | t/año | t/año | t/año | NMP/año | NMP/año |
| Antioquia | Atrato Matuntugo | 2571,03 | 17011 | 3243 | 73175 | | 2E+07 | 4,1E+19 | 1,1E+20 |
| | Guadualito | 2,75 | 39 | 117 | 147 | | 2E+05 | 2,5E+16 | 7,0E+17 |
| | Mulatos | 4,53 | 138 | 10 | 121 | | 2E+04 | 1,8E+17 | 7,9E+17 |
| | Necocli | 3,00 | 163 | 60 | 175 | | 4E+03 | 2,0E+17 | 4,7E+17 |
| | Currulao | 9,83 | 356 | 71 | 604 | | 4E+04 | 1,1E+19 | 3,9E+19 |
| | Leon | 63,74 | 672 | 563 | 4925 | | 5E+05 | 4,8E+20 | 1,1E+21 |
| | Turbo | 3,81 | 59 | 8 | 120 | | 2E+04 | 1,3E+18 | 4,9E+18 |
| Atlántico | Clarín | 23 | 151 | 33 | | 0,7 | 2E+05 | 1,7E+17 | 1,4E+18 |
| | Magdalena | 7233 | 33423 | 7413 | | 228 | 7E+07 | 5,2E+21 | 2,5E+22 |
| Bolívar | Caño Correa | 128,34 | 1104 | 216 | 4398 | | 5E+05 | 3,6E+15 | 6,9E+16 |
| | Canal del Dique | 299,02 | 3902 | 1320 | 18719 | | 4E+06 | 5,0E+18 | 1,1E+19 |
| Córdoba | Río Sinú | 372,91 | 2607 | 183 | | 36,49 | 1E+06 | 4,5E+20 | 1,9E+21 |
| La Guajira | Cañas | 12 | 47 | 12 | | 0,23 | 2E+03 | 3,5E+18 | 8,4E+18 |
| | Jerez | 15 | 110 | 22 | | 0,34 | 7E+04 | 2,2E+18 | 4,4E+19 |
| | Palomino | 25,37 | 103 | 24 | | 0,90 | 2E+04 | 7,5E+17 | 1,6E+18 |
| | Ranchería | 12,37 | 42 | 57 | | 0,78 | 4E+04 | 6,8E+18 | 1,1E+19 |
| Magdalena | Buritaca | 10 | 16 | 22 | | 0,29 | 2E+03 | 3,9E+17 | 1,2E+18 |
| | Córdoba | 10 | 4 | 27 | | 0,17 | 5E+03 | 2,8E+17 | 5,7E+18 |
| | Don Diego | 39,24 | 107 | 96 | | 0,68 | 1E+04 | 4,4E+18 | 9,0E+18 |
| | Gaira | 2,74 | 5 | 14 | | 0,17 | 4E+03 | 1,5E+18 | 2,2E+18 |
| | Guachaca | 22,38 | 71 | 54 | | 0,32 | 6E+03 | 7,1E+17 | 1,8E+18 |
| | Manzanares | 1,89 | 69 | 34 | | 0,04 | 3E+03 | 2,4E+19 | 5,6E+19 |
| | Piedras | 5,05 | 19 | 10 | | 0,14 | 2E+03 | 5,9E+17 | 1,0E+18 |
| Sucre | Toribio | 10 | 4 | 18 | | 0,31 | 6E+03 | 1,7E+17 | 4,9E+17 |
| | C. Pechelin | 1,21 | 13 | 10 | | 0,35 | 2E+04 | | |
| Caribe | | 10882 | 60236 | 13639 | 102384 | 270 | 1E+08 | 6E+21 | 3E+22 |

| Departamento | Corriente | Caudal | NT | PO4 | DBO | HDD | SST | CTE | CTT |
|------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| | | m3/s | t/año | t/año | t/año | t/año | t/año | NMP/año | NMP/año |
| Cauca | Guapi | 357,05 | 647 | 218 | | 2,69 | 1E+05 | 9,9E+18 | 2,6E+19 |
| | Micay | 605,97 | 2337 | 426 | | 5,03 | 3E+06 | 3,5E+19 | 1,2E+20 |
| | Saija | 165,84 | 528 | 75 | | 1,99 | 2E+05 | 4,5E+19 | 5,3E+19 |
| | Timbiquí | 147,13 | 226 | 57 | | 1,36 | 6E+04 | 6,4E+18 | 1,3E+19 |
| Chocó | Atrato Quibdó | 1839,19 | 18830 | 442 | | 25,7 | 6E+06 | 6,4E+20 | 1,6E+21 |
| | San Juan | 2054,23 | 71372 | 2073 | 62839 | 12,3 | 2E+06 | 2,1E+20 | 2,4E+21 |
| Nariño | Brazo Patía | 356,01 | 1036 | 162 | | 1,95 | 5E+05 | 1,4E+20 | 1,6E+20 |
| | Chagüi | 133,50 | 372 | 52 | | 4,12 | 6E+05 | 3,2E+18 | 5,8E+18 |
| | Iscuandé | 212,77 | 523 | 95 | | 1,84 | 2E+05 | 9,4E+18 | 9,4E+18 |
| | Mejicano | 45,00 | 185 | 15 | | 0,60 | 6E+04 | 8,7E+17 | 1,2E+18 |
| | Mira | 868,08 | 3629 | 489 | | 27 | 6E+05 | 4,7E+19 | 1,9E+20 |
| | Rosario | 146,00 | 620 | 81 | | 0,92 | 2E+05 | 3,2E+18 | 5,6E+18 |
| Valle del Cauca | Anchicayá | 111,94 | 4692 | 113 | 7925 | 18,1 | 2E+05 | 2,8E+19 | 1,4E+20 |
| | Dagua | 125,89 | 4396 | 127 | 3851 | 3,6 | 3E+05 | 2,7E+19 | 1,8E+20 |
| | Potedó | 60,00 | 1878 | 61 | 1835 | 0,51 | 2E+04 | 2,7E+19 | 2,5E+20 |
| | Raposo | 70,00 | 3334 | 56 | 2141 | 0,4 | 1E+04 | 1,8E+19 | 1,5E+20 |
| Pacífico | | 7299 | 114606 | 4542 | 78591 | 108 | 1E+07 | 1E+21 | 5E+21 |
| Total Litorales | | 18181 | 174842 | 18181 | 180975 | 378 | 1E+08 | 8E+21 | 3E+22 |

La carga de fósforo inorgánico al igual que el nitrógeno fue más alta en los ríos Magdalena (7413 t/año); Atrato (3243 t/año) y San Juan (2073 t/año). Así mismo, los sólidos suspendidos más elevados se presentaron en el río Magdalena con 67 millones de t/año por el arrastre de sedimento y los aportes que recibe de los tributarios que desembocan en su cuenca a lo largo del territorio nacional; seguido por los ríos Atrato en Matuntugo y en Quibdó con 24 y 6 millones de t/año respectivamente. La mayor contaminación fecal la aportan los ríos Magdalena (5.2×10^{21} NMP/año de CTE) seguido del río Atrato-Quibdó (6.4×10^{20} NMP/año de CTE) y León (4.8×10^{20} NMP/año de CTE), probablemente asociados a los vertimientos no controlados de aguas residuales domésticas caracterizadas por tener altas cargas de Coliformes termotolerantes y totales. Por otro lado, en el Magdalena se encontró la mayor carga de hidrocarburos (228 t/año), pero se mantiene en el promedio histórico (REDCAM), que puede estar asociados al transporte permanente de hidrocarburos a través del río, desde la refinera de Barrancabermeja hasta el Canal del Dique (Cormagdalena, 2009). Otros ríos con cargas importantes de hidrocarburos fueron los ríos Sinú (36.5 t/año), Mira (27 t/año) y Atrato-Quibdó (25.7 t/año). Estos residuos oleosos provienen de actividades como el transporte marítimo, el expendio de gasolina y el mantenimiento de embarcaciones, actividades habituales en las cuencas de estos tributarios.

Para evaluar el recurso hídrico marino-costero la Red de vigilancia REDCAM viene evaluando los cambios en la calidad del agua marina en Colombia hace varios años, con el índice de calidad (ICAM), el cual permite cuantificar el estado de conservación o deterioro de este tipo de aguas, de acuerdo a sus características en un lugar y tiempo específico. En este año se está proponiendo una nueva formulación del ICAM con sólo ocho variables, asumiendo un alcance regional y nacional, acorde con las metas de la iniciativa de la Red de información y datos del Pacífico Sur para el apoyo a la Gestión Integrada del Área Costera (SPINCAM) promovida por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), asesorada e implementando a través de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI/UNESCO) desde 2008 en los países de Panamá, Colombia, Ecuador, Perú y Chile (INVEMAR, 2011b). Este nuevo enfoque busca poder contar con mayor cobertura de análisis en los diferentes sitios que no median toda la cantidad de variables que requería el ICAM anterior.

El nuevo ICAM utiliza de manera integral (ecuación 1) las ocho variables mínimas oxígeno disuelto, pH, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos, hidrocarburos disueltos y dispersos, y Coliformes termotolerantes (Vivas-Aguas, 2011), como determinantes de procesos naturales y antropogénicos en aguas marino-costeras. Cada variable dentro de la ecuación se califica por la concentración medida, según sus valores de aceptación o de rechazo de calidad que debe cumplir con los estándares preestablecidos y que son considerados aptos para proteger el hábitat de una especie o una comunidad en los ecosistemas costeros (Beamonte *et al.*, 2004; Bianucci *et al.*, 2005). Esta calificación se ajusta a las curvas de calidad con valores entre 0 y 100 de acuerdo a la escala de descriptiva del ICAM (Tabla 3-3), para preservación de flora y fauna (ICAM_{PPF}) en aguas marino-costeras.

$$ICAM = \left(\prod_{i=1}^n x_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum w_i}} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

ICAM = es la calidad del agua en función de la concentración e importancia de cada una de las variables.

X_i = subíndice de calidad de la variable *i*

W_i = factor de importancia para cada subíndice *i*, según su importancia en el ICAM, el cual se pondera entre cero y uno (valor de importancia).

Tabla 3-3. Escala de valoración del índice de calidad de aguas marinas – ICAM. Tomado de Vivas-Aguas, 2011.

| Escala de calidad | Categorías | Descripción |
|-------------------|------------|--|
| Óptima | 100-90 | Calidad del agua deseada |
| Adecuada | 90-70 | Buenas condiciones y pocas limitaciones |
| Aceptable | 70-50 | Conserva buenas condiciones pero muchas limitaciones |
| Inadecuada | 50-25 | Presenta muchas limitaciones y desventajas |
| Pésima | 25-0 | Las desventajas superan las ventajas |

Los resultados del ICAM_{PPF} mostraron diferencias (p < 0.05) entre las épocas de lluvias 2010 y seca 2011, pero no entre los años de muestreo evaluados (Figura 3-4). Los 333 índices estimados en 2010, mostraron que el 8% (26) estuvieron dentro de la calificación de calidad *óptima*, con el mayor número de casos en los departamentos de Sucre, Magdalena y La Guajira, principalmente en la época seca (Figura 3-5a). El 67% de los ICAM_{PPF} quedó en la categoría *adecuada* y *aceptable*; el 18% (59) restante mostraron calidades *inadecuadas* y sólo el 7% una *pésima* calidad (22 ICAM_{PPF}) en estaciones ubicadas en los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, La Guajira, Magdalena y Sucre.

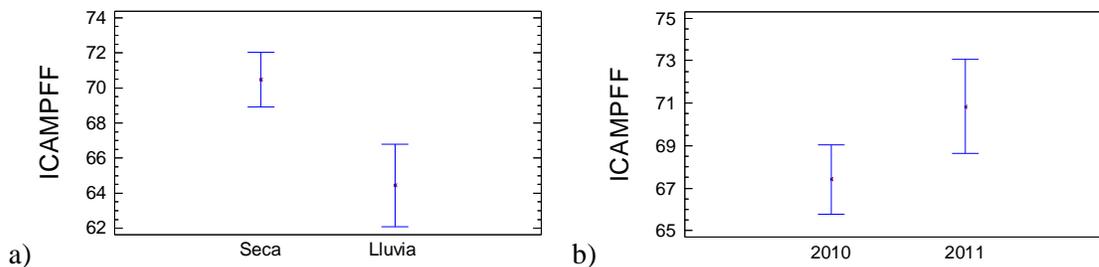


Figura 3-4. Comparación de los índices de calidad de aguas para preservación de flora y fauna (ICAM_{PPF}) entre las épocas climáticas seca y lluvia (a) y años de muestreo (b).

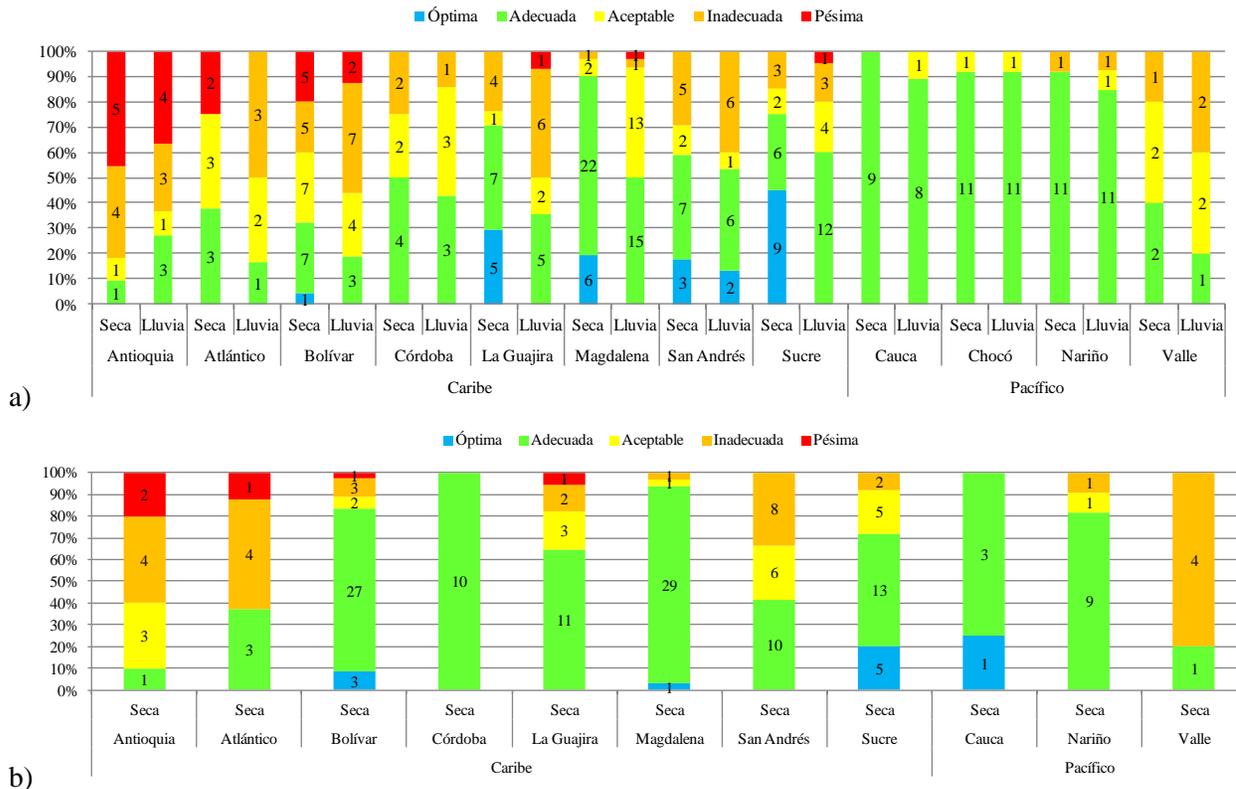


Figura 3-5. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PF}) entre 2010 (a) y 2011 (b) en las zonas costeras del Caribe y Pacífico colombiano en época seca y de lluvias. Los valores en las barras representan el número de índices en cada categoría; los colores de las barras representan la calidad de acuerdo con la escala indicativa (Tabla 3-3).

Al relacionar los resultados del muestreo de la REDCAM, el ICAM y la precipitación mensual acumulada en el periodo de datos analizados (Figura 3-6), se demuestra la influencia de los eventos climáticos actuales en Colombia, y es importante señalar, que el fenómeno de La Niña alteró el clima nacional desde mediados de 2010, ocasionando lluvias extraordinarias en las regiones Caribe, Andina y Pacífica, haciendo que la temporada seca de mitad de año no se presentara (IDEAM, 2010). En el 2010 las precipitaciones persistieron con los excesos de lluvias muy por encima de lo normal en la región Caribe y Pacífica; donde se registraron los meses más lluviosos de los últimos 10 y cuarenta años en las regiones Caribe, Andina y el norte del Pacífico, con excesos mayores al 70% por encima del promedio en amplios sectores de los departamentos de La Guajira, Córdoba, sur de Bolívar, Chocó, sur de Nariño y sur de Antioquia (IDEAM, 2011a). Estas lluvias extraordinarias se reflejaron en el muestreo de la REDCAM (Figura 3-5) en departamentos como Antioquia, Atlántico y Bolívar, principalmente donde las condiciones del agua no fueron *adecuadas* debido a la influencia de las escorrentías y al arrastre de contaminantes característico de una época de lluvias. Cabe resaltar que en el último trimestre del año también se registraron lluvias con excesos altos, para las ciudades de Cartagena y Santa Marta (IDEAM, 2011b). De igual manera, “La Niña” mostró sus impactos en la primera temporada de lluvias de 2011, manifestándose en un aumento significativo de los niveles de los ríos y escorrentías a la zona costera con aumento en la amenaza de deslizamientos de tierra (IDEAM, 2011c).

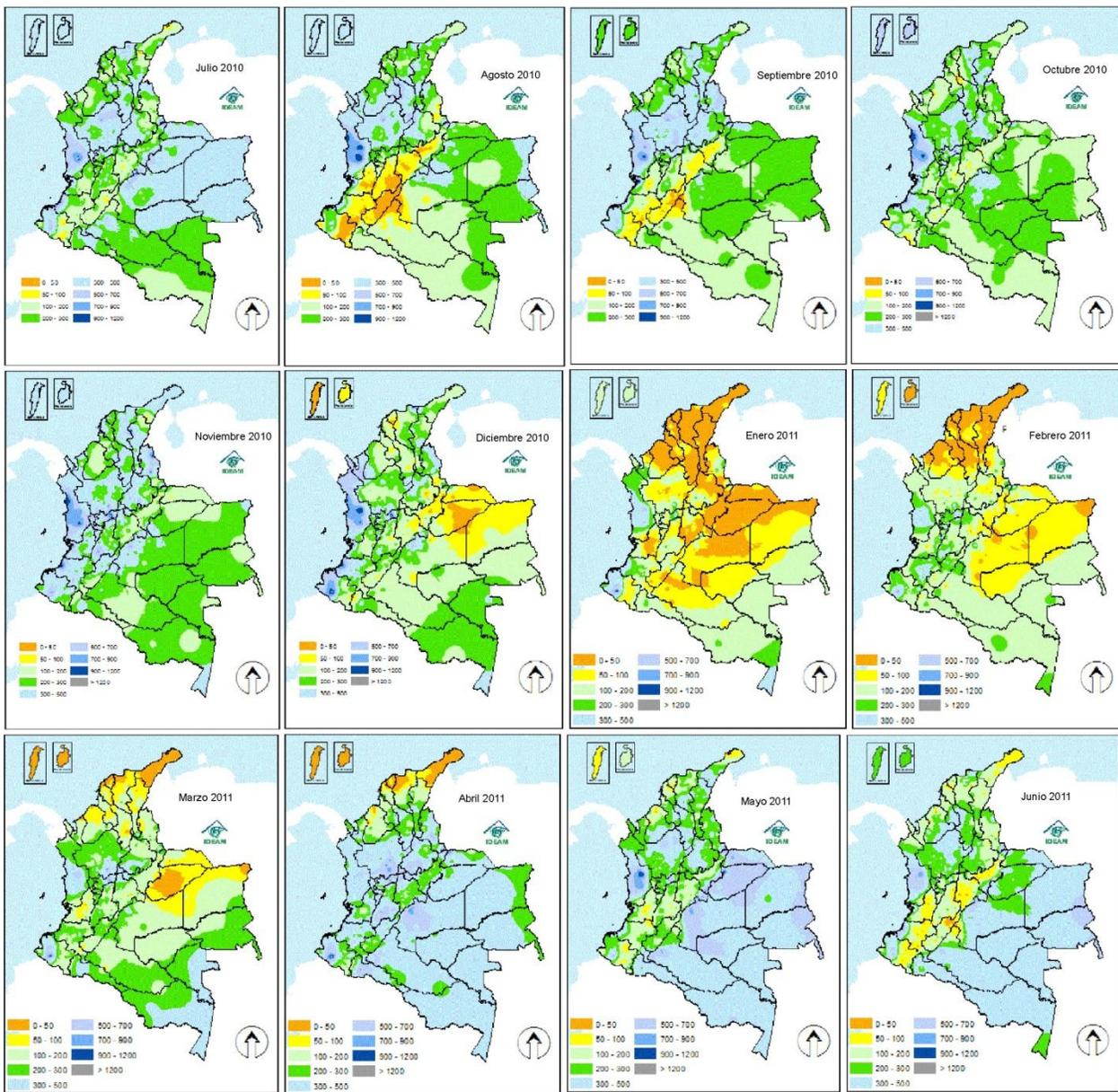


Figura 3-6. Mapas de precipitación mensual, que representan los volúmenes de precipitación acumulados en milímetros durante cada mes durante julio de 2010 y junio de 2011 en Colombia. Fuente: www.ideam.gov.co

En la época seca de 2011 el 5% de los 182 ICAM_{PFF} calculados mostraron condiciones *óptimas*, el 64% características *adecuadas* del agua, especialmente en los departamentos de Sucre, Bolívar, Magdalena y Cauca (Figura 3-5b); el 11% calidad *aceptable*; el 16% *inadecuada* y el 3% mantuvo una *pésima calidad* del agua en estaciones de los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar y La Guajira (Figura 3-7). Similar al año pasado, las variaciones en la calidad del agua (ICAM_{PFF}), en el 2011 estuvieron influidas por el aumento del volumen de las lluvias que se presentaron en el primer semestre del año, como consecuencia del evento “La Niña” y las precipitaciones por encima de los promedios en zonas del centro y sur de la región Caribe, además de sectores en los departamentos de Antioquia, Chocó, Cauca y Nariño, particularmente con precipitaciones por encima o muy cercanas a valores normales de precipitación (IDEAM, 2011b). Este incremento en las precipitaciones condicionó el mantenimiento de las

inundaciones en las cuencas bajas de los ríos, favoreciendo el aumento de su caudal, las escorrentías y las descargas de aguas ricas en nutrientes, sólidos, coliformes y todo tipo de sustancias contaminantes desde el continente a la zona costera, las cuales se manifestaron en el aumento del porcentaje de ICAM_{PFF} con *inadecuada* y *pésima* calidad, indicando riesgo de contaminación.

Los sitios que mostraron en este período (2010-2011) un estado de *pésima e inadecuada* calidad en el Caribe fueron las playas de Arboletes, Martina, Uveros, Turbo y Necoclí y la estación del Muelle Armada en Antioquia, estaciones reincidentes en años anteriores con *mala calidad* (Vivas-Aguas *et al.*, 2010). En Atlántico Puerto Colombia, Punta Roca, Salgar y Pradomar; el Hotel Montecarlo en Sucre y Muelle de cabotaje (calle 10) en la Bahía de Santa Marta en Magdalena. En Bolívar, algunas estaciones de la bahía de Cartagena mostraron malas condiciones del agua a la altura del Astillero naval, frente al emisario, en el muelle oceanográfico, Bocachica y Alcalis; En el sector del Parque Corales del Rosario las estaciones del Oceanario e isla Barú (Figura 3-7), sólo alcanzaron índices de 21.8 y 17 respectivamente, determinados altas concentraciones de nitratos, sólidos y coliformes, en estas estaciones del parque en particular, es necesario prestar atención al valor del índice, teniendo en cuenta que es un área protegida, con arrecifes de coral que necesitan buenas condiciones del agua, además que concentraciones altas de sólidos y nutrientes son inadecuadas para la vida acuática. En la región Pacífica, aunque no se presentaron sitios con *pésima calidad* del agua como en el Caribe, algunos sitios mostraron características *inadecuadas* con índice entre 33.2 y 48.8 en los frentes de los ríos Anchicayá, Potedó, Raposo y San Juan en la Bahía de Buenaventura (Valle del Cauca); en el puente el Pindo y la Sociedad Portuaria en la Bahía de Tumaco en Nariño. En el análisis más detallado, las variables que determinaron los sitios con más deficiente calidad, fueron principalmente las altas concentraciones de coliformes termotolerantes, ortofosfatos, nitratos y sólidos suspendidos (INVEMAR, 2011).

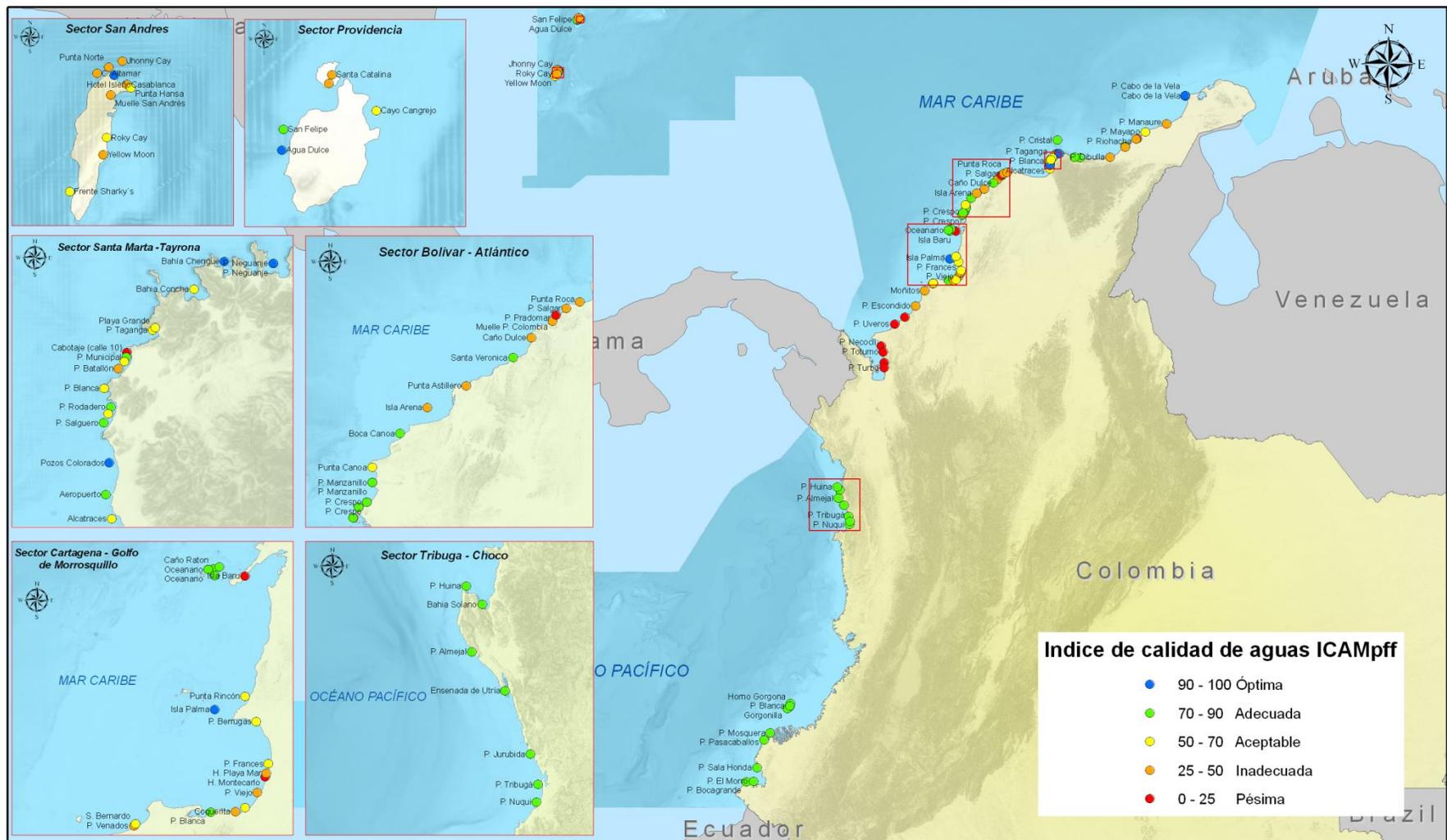


Figura 3-7. Condiciones del agua marino-costera evaluadas con el índice de calidad para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}) en sitios de muestreo de la REDCAM durante el periodo 2010 -2011. Los colores de los círculos representan la calidad de acuerdo con la escala indicativa (Tabla 3-3).

Por otra parte, se utilizó la curva de función de coliformes termotolerantes como indicadores de contaminación fecal, para evaluar la aptitud de las aguas marinas para baño, teniendo en cuenta que esta información permite garantizar el desarrollo de actividades turísticas y la protección de los bañistas, así como para diversos propósitos en el ámbito social, económico y ambiental (Noble *et al.*, 2004; James, 2000; Yepes, 1999).

En la evaluación del agua de baño de las playas para el 2010, se encontró que el 58% de indicadores de coliformes termotolerantes calculados (185) estuvieron en las categorías de calidad *óptima* y *adecuada*, en su mayoría con casos en la época seca y en el departamento del Magdalena (sin diferencias entre épocas climáticas); el 12% estuvo en el rango *aceptable*; el 10% en condiciones *inadecuadas* y el 19% de los índices con *pésima* calidad del agua, principalmente en la época de lluvias, en los departamentos de Valle del Cauca con 9 casos; La Guajira con 2 casos y Valle del Cauca con 4 casos, en época seca (Figura 3-8a). Para la época seca del 2011, el 65% de los 62 indicadores de contaminación fecal alcanzaron una calidad *óptima*, con la mayoría de casos en el departamento del Magdalena, Bolívar y San Andrés. El 15% estuvieron en el rango de calidad *adecuada* y *aceptable*; y el 21% restante con calidad *inadecuada* y *pésima*, ubicándose los peores casos en los departamentos de Atlántico, Sucre, Antioquia, La Guajira, Magdalena y San Andrés (Figura 3-8b).

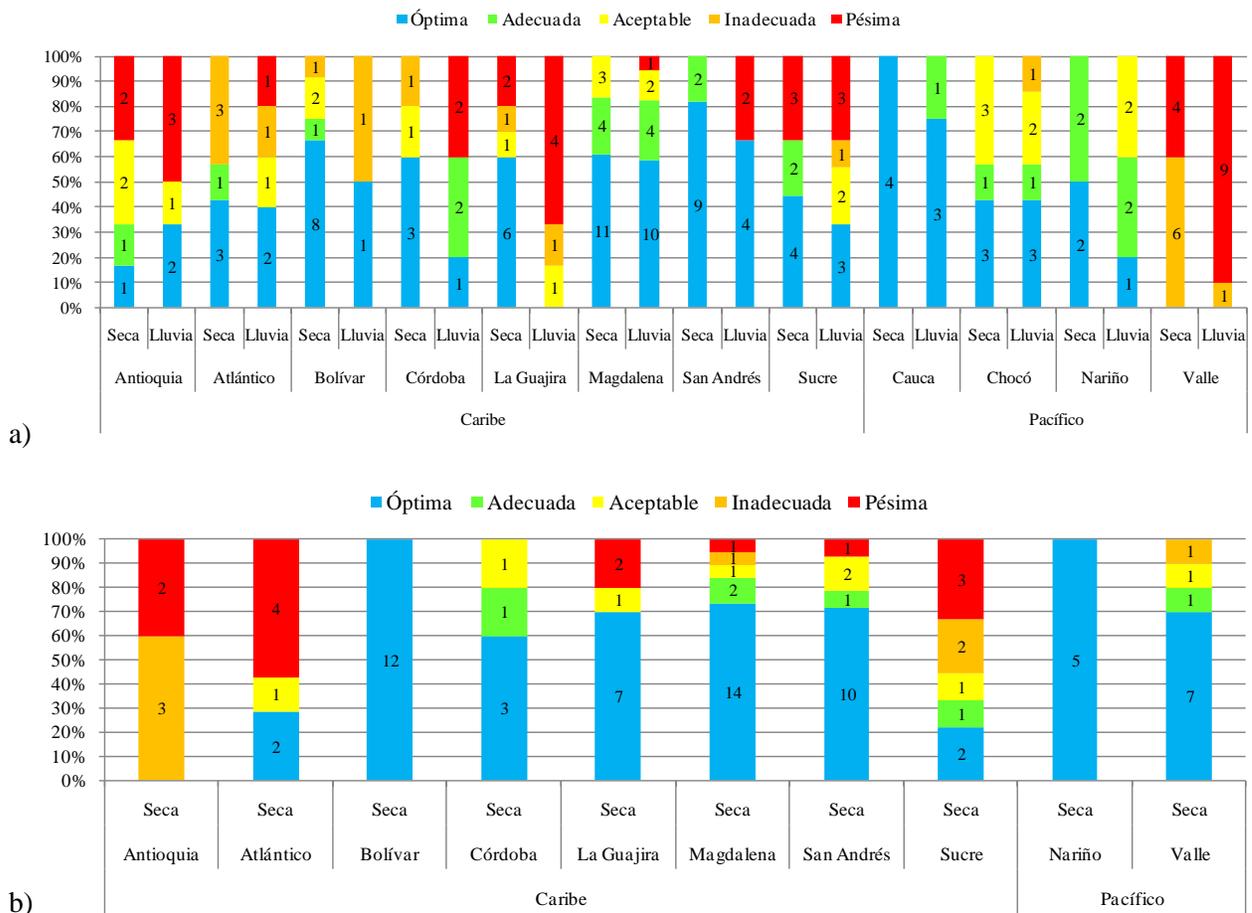


Figura 3-8. Calidad del agua de baño en playas evaluadas con coliformes termotolerantes como indicador de contaminación fecal entre 2010 (a) y 2011 (b) en las zonas costeras del Caribe y Pacífico colombiano. Los valores en la barra representan el número de casos en esa categoría. Los colores representan la calidad de acuerdo con la escala indicativa (Tabla 3-3).

En términos puntuales, las playas que se destacaron por presentar condiciones *óptimas* en este período (2010 y 2011), fueron Totumo (Antioquia), Punta Astillero (Atlántico); Boca Canoa, Manzanillo y Bocagrande, en Rosario el Oceanario, caño Ratón, y las islas de Barú, Arena y Grande (Bolívar); Cabo de la Vela, Camarones, Manaure y Mayapo (La Guajira); en el Parque Tayrona las playa de Chengue, Concha, Mendihuaca, Neguanje, así como las playas de Taganga, playa Grande, Salguero y el Rodadero (Magdalena); Moñitos y Puerto Escondido en Córdoba (Figura 3-9).

Por otro lado, hay estaciones que aún persisten en sus condiciones *pésimas* de calidad para baño como son playa Blanca, San Bernardo del viento y Puerto Escondido en Córdoba; Coveñas (Coquerita, Puerto viejo y puntaepiedras), Punta Rincón, Berrugas y frente a los hoteles Montecarlo y Playa Mar en Sucre; en el muelle de Riohacha y las playas de Riohacha, Camarones, Dibulla, Manaure y Mayapo en La Guajira; las playas de Necoclí, Arboletes, Turbo y Uveros en Antioquia; Salgar y Pradomar en Atlántico (Figura 3-9). Las concentraciones de coliformes, como han documentado otros autores, aumentan con el material suspendido, además de estar asociado con el aumento de la turbidez y la reducción del efecto bactericida de la luz, probablemente aumenta la longevidad de las bacterias, como las del grupo Coliformes, al servir como sustrato para que estos microorganismos puedan adherirse (Mallin et al., 2000; Davies et al., 1995). La salinidad también afecta la presencia de microorganismos en aguas marino costeras, ya que su descenso contribuye con el tiempo de supervivencia de los Coliformes en el mar (Gabutti et al., 2000).

A manera de conclusión, vale decir que las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombiano están afectadas por diversas fuentes terrestres de contaminación puntuales y no puntuales, que en mayor o menor medida afectan la calidad del agua, debido a la entrada de contaminantes que llegan al mar por la disposición inadecuada de las aguas residuales, escorrentías agrícolas y las descargas de ríos. La evaluación del estado del agua marina usando los indicadores para preservación de flora y fauna y para aguas de baño, expone que a escala nacional el 21% de las estaciones monitoreadas durante el año 2010 y la época seca del 2011 obtuvieron *inadecuada* y *pésima* calidad, mostrando las relaciones con diversas fuentes antropogénicas de contaminación que constituyen la mayor amenaza al hábitat costero.

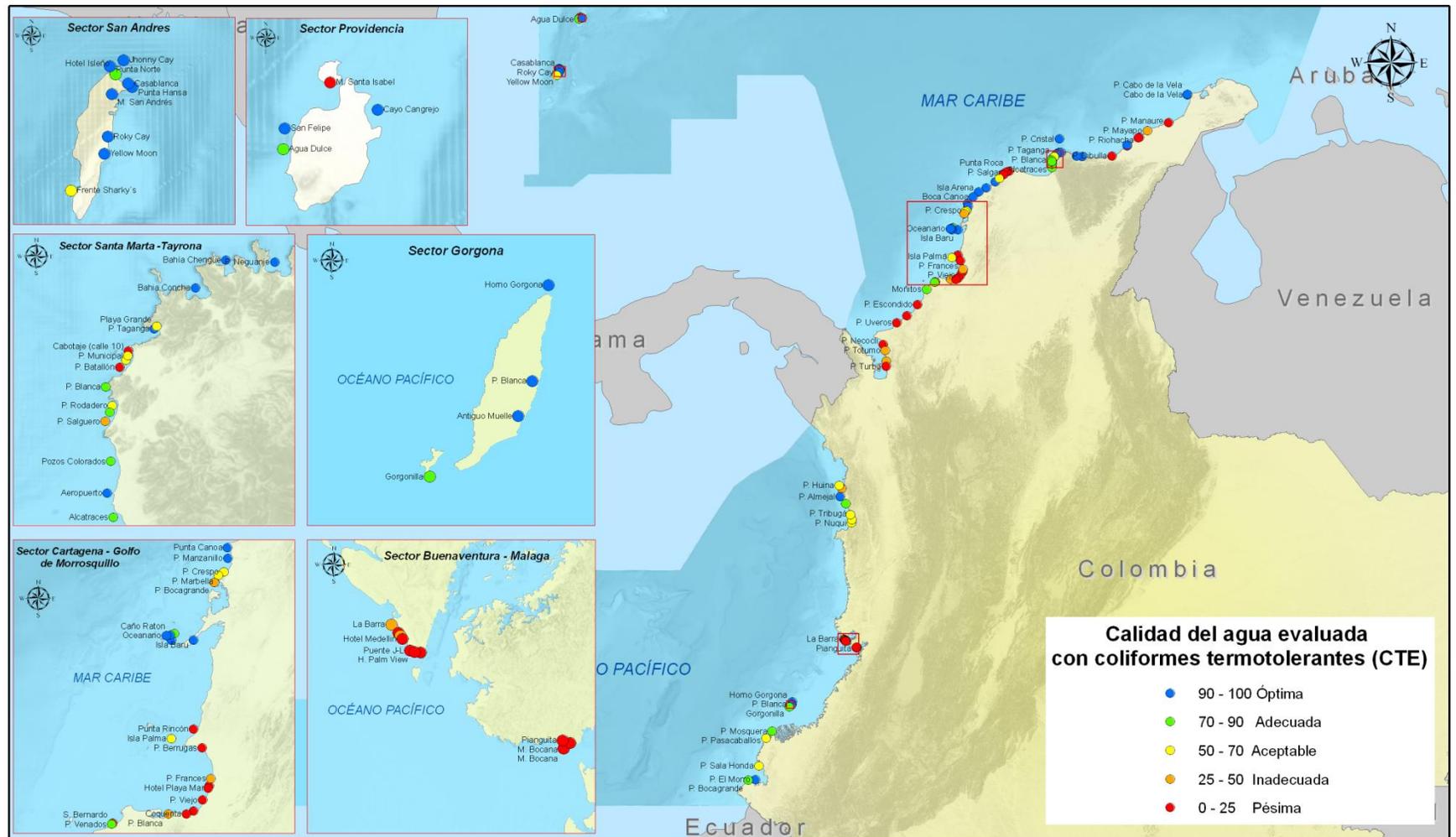


Figura 3-9. Calidad del agua de playas evaluadas con coliformes termotolerantes como indicador de contaminación fecal entre 2010 y 2011 en las zonas costeras del Caribe y Pacífico colombiano. Los colores de los círculos representan la calidad de acuerdo con la escala indicativa (Tabla 3-3).

Costa Caribe



Zona costera de Riohacha. Foto: Janet Vivas

4 DIAGNÓSTICO REGIONAL COSTA CARIBE

Las aguas costeras de los departamentos de la región Caribe han mostrado históricamente y en general buenas condiciones fisicoquímicas (oxígeno, pH, temperatura, salinidad) de acuerdo a los lineamientos de calidad establecidos por la legislación colombiana (MinSalud, 1984) para la preservación de la vida acuática. No obstante, entre la época lluviosa de 2010 y seca de 2011 se observaron cambios relevantes en la proporción de estaciones con concentraciones de oxígeno por debajo del límite de 4.0 mg/L establecido en la legislación nacional para este uso. Los casos se presentaron principalmente en las aguas marinas del departamento de Magdalena durante la época lluviosa, así como en las aguas estuarinas y fluviales de Antioquía y Sucre. Otros niveles bajos de oxígeno fueron observados en la bahía de Barbacoas (Bolívar) y la isla de Providencia. En contraste, no se registró ningún evento de concentraciones mínimas de oxígeno en el departamento de La Guajira. En relación con el pH, la menor variación se observó en las aguas marinas (7,36 – 8,9), seguido por aguas estuarinas (6,8 -9,03) y dulces (6,62 – 8,96), debido a la capacidad buffer del sistema carbonato/bicarbonato/acido carbónico que poseen los mares (Garbagnatti et al., 2005).

En promedio la salinidad presentó un descenso en comparación con años anteriores, debido principalmente a la disminución en las aguas marinas. Estos cambios se evidenciaron durante la época de lluvias en los departamentos de La Guajira y Magdalena, y en la época seca en la zona que comprende Antioquía y Córdoba. Este comportamiento obedeció al aumento de las precipitaciones durante el 2010 debido al fenómeno climático “La Niña” y posteriormente la presencia estacional durante los primeros meses del año de los conocidos eventos de surgencia causados por transporte de Ekman y la acción de vientos continentales en el Caribe colombiano durante la época seca (Arevalo y Franco, 2008). Por otro lado, valores extremos de salinidad fueron medidos en algunos ecosistemas costeros como la Ciénaga de Balboa (55,8) en el departamento del Atlántico, los cuales se atribuyeron al escaso nivel alcanzado en la columna de agua. En general, los cambios de temperatura fueron consistentes con la climatología y oceanografía de la región. Los departamentos de la zona sur comprendidos por Antioquía, Bolívar, Córdoba y Sucre presentaron mayores valores promedio de salinidad en la época de lluvias, mientras que en los departamentos de la zona norte (San Andres Isla, La Guajira, Magdalena y Atlántico), los valores promedio estuvieron relativamente más bajos durante la época seca.

Con respecto a los sólidos suspendidos totales (SST) se observaron diferencias entre las épocas climáticas en varios departamentos del Caribe. En Antioquia y Magdalena se encontraron concentraciones más altas en la época de lluvias, mientras que en Bolívar, Atlántico y La Guajira (aguas estuarinas y marinas), los niveles más altos se presentaron en la época seca; en San Andres las concentraciones fueron similares en ambas épocas. Los mayores aportes de SST se transportan por los ríos que tienen una alta influencia sobre la calidad de agua marina y en el Caribe los que más aportaron en promedio son los tributarios de Antioquia (24,0 - 1468,0 mg/L) y Atlántico (río Magdalena; 123,2 - 336,0 mg/L), seguidos por los tributarios de Córdoba (río Sinu), Sucre y Bolívar. El aporte de algunos tributarios se refleja en las condiciones de aguas estuarinas (4,0 - 4.850 mg/L) y marinas (1,0 - 365,0 mg/L) donde los valores de SST oscilaron ampliamente, encontrando los más altos en Antioquía y los más bajos en las aguas de San Andrés y Providencia (4,0 - 18,0 mg/L). Aunque la variación en las concentraciones de SST puede depender de las condiciones específicas del día de muestreo, como la lluvia, los resultados de SST en los ríos de Antioquía, Sucre y La Guajira en el presente año fueron superiores a los promedios históricos (2001- época seca 2010) del orden de 170%, 40% y 340%, respectivamente. Por otro lado, los SST en los ríos de Bolívar y Magdalena fueron menores que los datos históricos del orden de 45% y 80%, respectivamente (INVEMAR, 2011). Condiciones similares de turbiedad se observaron en las aguas fluviales, encontrando el máximo promedio en Antioquia (333,8 NTU), seguido por Atlántico (89,0 NTU), mientras que en el resto de la región, con excepción del río Tomarrazon (614 NTU) en La Guajira y el arroyo Pechelin (267,0) y Villeros (78,2 NTU) en Sucre, los valores oscilaron entre 1-50 NTU.

En el caso de los nutrientes se observaron variaciones temporales y por tipo de agua en las concentraciones de fósforo en términos de fósforo reactivo soluble (FRS) y nitrógeno en términos de nitrógeno inorgánico disuelto ($\text{NID} = \text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$). El FRS en los ríos y aguas estuarinas de Bolívar y Antioquia, así como en las aguas marinas de La Guajira y Magdalena mostró mayores concentraciones en la época de lluvias. Los niveles más altos se registraron en las aguas estuarinas de Antioquia (máximo: 9.300 $\mu\text{g/L}$), seguido por Magdalena (estación Muelle Cabotaje, 634,55 $\mu\text{g/L}$). Otros niveles altos de FRS se presentaron en los ríos de Antioquia, Bolívar (caño Lequerica), Magdalena (río Manzanares) y Sucre, así como en San Andrés (Jhonny Cay) y Atlántico (Ciénaga Mallorquín). De forma similar, la máximas concentraciones de NID se observaron en Antioquia (Playa Arboletes y B. Volcán), Magdalena (Muelle Cabotaje) y Atlántico (río Magdalena). Los departamentos de Atlántico y Córdoba fueron los únicos donde se observaron diferencias temporales en todos los tipos de aguas, siendo mayores los niveles de NID en la época seca en Atlántico y en la época de lluvias en Córdoba. Cabe destacar que en comparación con los datos históricos, las aguas fluviales, estuarinas y marinas en Córdoba en el año 2011 fueron más ricas en NID, del orden de 68%, 51% y 26%, respectivamente (INVEMAR, 2011).

En algunas zonas, las concentraciones de nutrientes pueden influenciar la dinámica de los ecosistemas marino. Durante este periodo de estudio las concentraciones de nitrógeno y fosforo fueron altas en comparación con valores de referencia para la conservación de arrecifes de coral (NID: 14,0 $\mu\text{g/L}$ y FRS: 3,1 $\mu\text{g/L}$, Lapointe, 1997), lo cual es de particular importancia en las estaciones del Parque Nacional Natural Tayrona (Magdalena), las islas del Rosario (Bolívar), de San Bernardo (Sucre) y San Andrés y Providencia donde se encuentran áreas protegidas para la conservación de corales. Esto debido a que las concentraciones altas de nutrientes inorgánicas disueltas encontradas en estos sitios pueden favorecer el florecimiento de macroalgas frondosas, en detrimento de los corales.

Los microorganismos indicadores de contaminación fecal también variaron en función de la época climática y el tipo de agua. En el primer caso, sólo se evidenciaron diferencias en los departamentos de Bolívar, Sucre y Córdoba, donde los niveles promedio de coliformes en la época de lluvias fueron entre 10 y 15 veces superiores a los niveles de la época seca, posiblemente por el aumento en el caudal de los ríos y escorrentías, el proceso de arrastre de microorganismos desde la parte continental, la resuspensión de las bacterias que están en el fondo de la columna de agua y el desbordamiento de los sistemas de alcantarillado (Coulliete y Noble, 2008, Hose et al., 2005). Con relación al tipo de agua, sólo se observaron diferencias en La Guajira, Atlántico y Sucre donde se midieron concentraciones de coliformes de hasta 127 veces superiores en aguas fluviales y estuarinas en comparación con las aguas marinas, lo que obedece a la naturaleza misma de estos cuerpos de agua. Los ríos son receptores de la gran mayoría de los residuos líquidos y sólidos que arrojan las poblaciones ubicadas a lo largo de sus cuencas, mientras que los estuarios, están influenciados por entradas de agua continental, que pueden contener diversidad de microorganismos. Durante el presente periodo, los tributarios que mayor concentración de coliformes termotolerantes llevaron a la zona costera fueron los ríos Volcán (33×10^6 NMP/100 mL) y Currulao (16×10^4 NMP /100 mL) en Antioquia, el río Magdalena (11×10^5 NMP /100 mL) en Atlántico y los ríos Gaira (24×10^4 NMP /100 mL) y Manzanares (17×10^4 NMP /100 mL) en Magdalena. La presencia de altas concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal supone la existencia de agentes patógenos (OMS, 2003) y teniendo en cuenta que el agua de los ríos es empleada para múltiples actividades, como la agricultura, recreación y quehaceres domésticos, se puede generar un riesgo para las poblaciones que usan este recurso.

Por otro lado, como los cuerpos de agua también son empleados para actividades recreativas y garantizar su calidad resulta fundamental para el desarrollo del turismo local, nacional e internacional y su monitoreo es importante. De acuerdo a las concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) medidas en las aguas recreativas y la legislación colombiana (CTE < 200 NMP/100 mL; Minsalud, 1984), los departamentos que mayor número de casos de riesgo presentaron para realizar actividades como baño y natación fueron Antioquia (11/11), Sucre (13/18) y Atlántico (7/12). En menor proporción se detectaron

casos de riesgo en La Guajira (4/10), Córdoba (3/10), Magdalena (4/35), San Andrés y Providencia (2/19) y Bolívar (1/12). Los departamentos de Antioquia y Sucre históricamente han presentado de manera repetitiva condiciones insuficientes de calidad en sus playas (INVEMAR, 2011), posiblemente debido a las descargas de aguas residuales a la zona costera producto de la baja cobertura de alcantarillado y a la influencia de cursos de agua continental, como ríos y arroyos directamente en zonas de baño (Troncoso et al., 2009).

Los resultados actuales de hidrocarburos en la costa Caribe mostraron que por lo general las concentraciones estuvieron entre 0-3 µg/L, debajo del valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas propuesto por la para aguas no contaminadas Unesco (1984), con la excepción de algunas estaciones en los departamentos de Sucre y Córdoba. Durante la época de lluvias 2010 en Sucre, las siguientes estaciones superaron el valor de referencia: Caño Francés (392,41 µg/L), Caño Pechelin (15,04 µg/L), Coveñas Coquerita (59,82 µg/L), Golfo 7 (13,53 µg/L) y Frente a Berrugas (17,01 µg/L) y en Córdoba la estación playa San Bernardo del Viento (56,71 µg/L); mientras que en la época seca de 2011, la cual fue atípica por la influencia del fenómeno de La Niña, en el departamento de Sucre las estaciones Caño Francés (52,70 µg/L), Caño Pechelin (188,00 µg/L), las playas de Coveñas Coquerita (16,50 µg/L), Tolu Hotel Montecarlo (30,10 µg/L) y Tolú Hotel Prado Mar (17,10 µg/L) y en Córdoba río Sinú (36,20 µg/L), la Ciénaga la Soledad (20,20 µg/L), la Loma (22,40 µg/L), boca Caño Grande (26,40 µg/L), frente a Agrotijo (23,40 µg/L), frente a Tinajones (22,50 µg/L) y las playas San Bernardo del Viento (18,50 µg/L) y los Venados (11,30 µg/L). Estos resultados destacan la necesidad implementar actividades de mitigación de hidrocarburos en las zonas identificadas, mantener el monitoreo en el Golfo de Morrosquillo y eventualmente incrementar el monitoreo en los sedimentos. El 63% de las muestras analizadas en el Caribe sobrepasaron el valor de 1,0 µg/L, lo cual muestra que hay una entrada constante de este contaminante al medio marino, que podría deberse a la actividad portuaria, puerto petrolero, expendios de combustibles, residuos oleosos de aceites de motor y vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales.

El monitoreo de metales pesados (cadmio, cromo y plomo) en aguas superficiales, mostró que en ninguno de los departamentos se encontraron concentraciones que superen los valores de referencias para efectos agudos de la NOAA (Cd: 40 µg/L y Pb: 210 µg/L, Buchman, 2008), y del límite máximo permisible de la legislación de Chile (Cr: 50 µg/L, Conama, 1986). Sin embargo, aunque no superen la referencia, en algunos casos las concentraciones de estos metales en aguas se encuentran en órdenes de magnitud que pudieran generar preocupación en algunas zonas. Por lo tanto, se propone iniciar la implementación del monitoreo en sedimentos que puedan reflejar la existencia y grado de la contaminación de algunas áreas identificadas. También, es importante anotar que las concentraciones obtenidas en aguas, pueden estar reflejando la acción de eventos puntuales, ya que estas concentraciones tienden a cambiar en varios órdenes de magnitud en periodos muy cortos de tiempo, por los cambios que originan las descargas de agua residuales y las variaciones de la carga de sólidos suspendidos, y que finalmente son depositados por diferentes procesos fisicoquímicos en los sedimentos, de ahí el interés e importancia de su empleo en los estudios ambientales, por ser indicadores de contaminación.

4.1 FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN EN EL CARIBE

Caso Estudio: zona costera de Riohacha y cuenca del río Ranchería

Las salidas de campo realizadas durante el 2011 permitieron explorar un área de influencia de la cuenca baja del río Ranchería y la zona costera de Riohacha, para identificar la problemática en términos de la contaminación que viven las poblaciones de esta zona del Caribe. Adicionalmente, es importante tener en cuenta que lo consignado en este informe, es producto de la revisión bibliográfica y recopilación de información primaria resultado de observaciones y estimaciones. La cuenca del río Ranchería situada en la parte central y occidental del departamento de La Guajira, con una superficie de 422467 Has, cubre los municipios de Distracción, Fonseca, Barrancas, Hato Nuevo y Albania y parte de los municipios de Riohacha, San Juan del Cesar, Maicao y Manaure. Nace en las estribaciones de la falda sur Oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta, en la laguna de Chirigua, a 3700 m.s.n.m y desemboca en el mar Caribe con múltiples bocas (Figura 4-1; [MAVDT/CORPOGUAJIRA/Fundación Pro-Sierra, 2009](#)).

La Guajira es un departamento con un gran potencial minero, rico en recursos marinos y naturales y con una localización geográfica que le abre grandes posibilidades para el intercambio comercial con Venezuela y otros países de la cuenca del Caribe ([DNP, 2007](#)). Este departamento es una zona muy importante del Caribe colombiano, donde se realizan múltiples actividades socioeconómicas en diversos sectores productivos, que fomentan el desarrollo de su población. Estas actividades productivas y los asentamientos humanos generan residuos que en mayor o menor medida son las potenciales fuentes contaminantes del agua y los recursos naturales, si no éstos son manejados y dispuestos de forma adecuada para reducir el deterioro ambiental (Tabla 4-1).

Tabla 4-1. Principales actividades, fuentes contaminantes y cuerpos de agua afectados en el departamento de La Guajira. Fuente: [Garay et al, 2001](#); información secundaria de Corpoguajira y Uniguajira; Proyecto Vertimientos 2011

| Actividad / Fuente contaminante | Tipo de contaminación | Tributarios afectados |
|---|---|--|
| Petróleo, Energía y Minería | Explotación de carbón Cerrejón – municipios (Barrancas y Riohacha). Extracción de petróleo crudo y de gas natural. Generación de energía eléctrica. | Aumento de sólidos en suspensión y disueltos, hidrocarburos del petróleo, compuestos tóxicos orgánicos, aguas térmicas |
| Agrícola y pecuaria | Cultivos de arroz, maíz, tomate, plátano y sorgo. Criadero de animales | contaminantes orgánicos, fertilizantes, agroquímicos, desechos de animales, contaminación microbiológica, |
| Marítima- Puertos | Puerto Bolívar, Puerto Nuevo, Uribia- Dibulla, | Aguas de sentinas – residuos de carbón, residuos oleoso |
| | Estaciones de servicio | Aceites, grasas, sedimentos |
| Municipales Instituciones | Matadero de vacunos en Riohacha | Retazos de pieles, cascos y heces |
| Eliminación de Residuos y vertimientos domésticos | Alcantarillado de Riohacha, Barrancas, Hato Nuevo, Fonseca, Distracción, Albania | Materia orgánica, microorganismos, sólidos en suspensión, grasas y aceites |

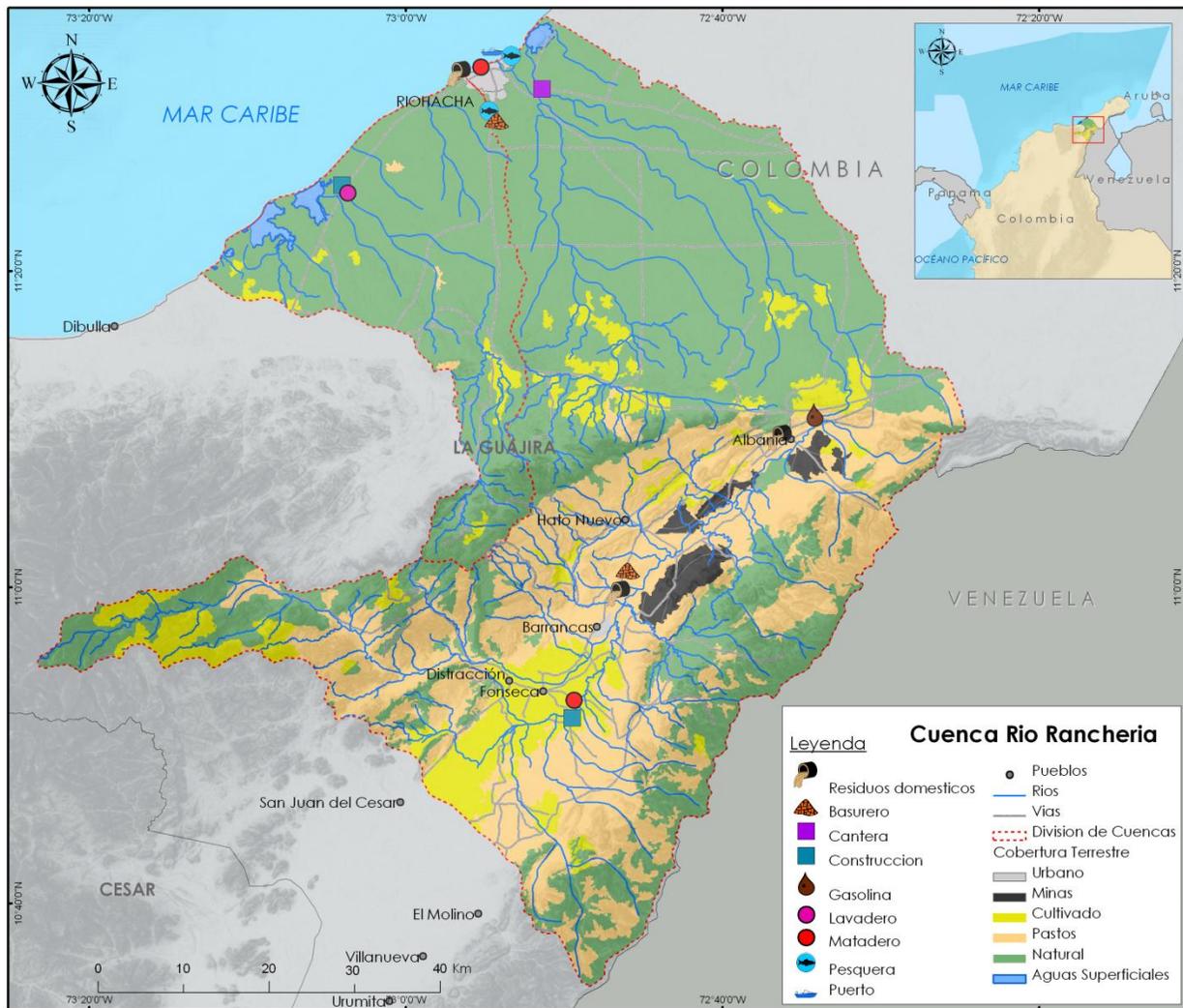


Figura 4-1. Mapa de la Cuenca del río Ranchería y la zona costera de Riohacha con las principales actividades productivas, usos de tierra y fuentes terrestres de contaminación (información secundaria UniGuajira, Corpoguajira, Invemar).

De acuerdo a las visitas realizadas durante el desarrollo del proyecto, se pudo observar que, varios de los municipios visitados de la cuenca del río Ranchería, coinciden en diferentes actividades socioeconómicas características del departamento, como son las actividades agrícolas, pecuarias, industriales, marítimas, pesqueras, entre otras (Figura 4-2). De igual forma, muchos de los municipios visitados presentan un inadecuado manejo de residuos sólidos y baja cobertura de saneamiento básico (Tabla 4-2), generando vertidos directos de contaminantes sobre el suelo y los cuerpos de agua, convirtiéndose en tensores que pueden modificar las características químicas, físicas y biológicas del agua y causar la degradación de los ecosistemas.

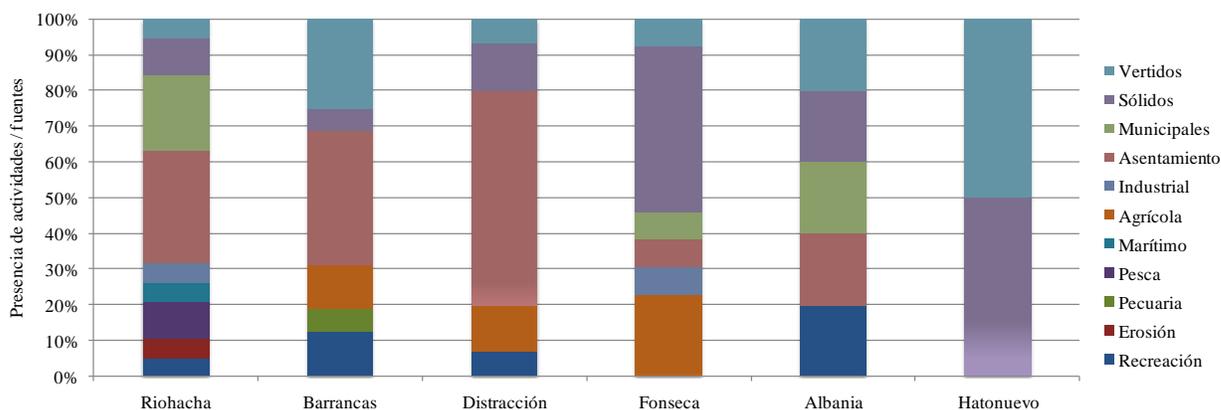


Figura 4-2. Tipo de actividades, usos del suelo y fuentes terrestres de contaminación observados en los diferentes asentamientos humanos visitados de la cuenca del río Ranchería y la zona costera de Riohacha.

4.1.1 Asentamientos humanos y residuos domésticos

Los seis municipios que conforman el área de estudio albergan en total una población de 344804 habitantes, de las cuales el 19% son afrodescendientes y el 23% indígenas. La mayor concentración poblacional se encuentra en Riohacha con el 64.5% de habitantes (Figura 4-3), seguido de Barrancas y Fonseca con el 9.1% y 9.0% respectivamente (DANE, 2005).

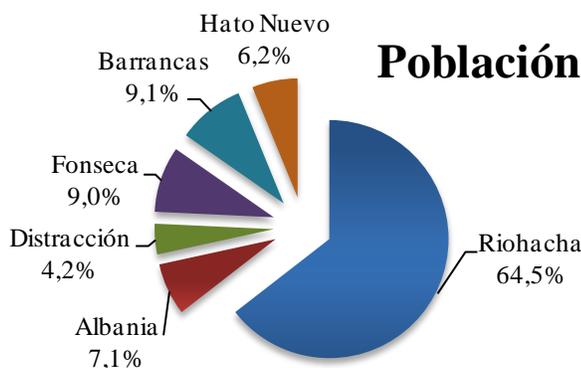


Figura 4-3. Población de los seis municipios del área de estudio, proyectada a 2011. Fuente: DANE, 2005

Los sistemas de abastecimiento de acueductos municipales en el departamento de La Guajira, en su mayoría funcionan por gravedad a través de la captación directa del agua de ríos. Las plantas de tratamiento son insuficientes para tratar y potabilizar el agua, y en gran parte de los municipios el agua que se distribuye es de baja calidad o no es apta para el consumo humano. Según los análisis de Índice de Calidad del Riesgo del Agua (IRCA) de la Secretaría de Salud Departamental en 2009, los acueductos de las cabeceras urbanas de Albania, Fonseca y Uribia presentaron un nivel de riesgo bajo, mientras que las poblaciones indígenas de la Media y Alta Guajira son las zonas mas afectadas, quienes se abastecen principalmente de manantiales, nacimientos, aljibes o jagüeyes y usan esta agua para el consumo humano y cria de animales (Corpoguajira, 2011).

De acuerdo a la población de 344804 habitantes de la zona, se calculó que producen 43260 m³/día de aguas residuales domésticas –ARD- (MinDesarrollo, 2000a; UNEP-RCU/CEP, 2010), cargadas con 2955 t/año de materia orgánica en términos de DBO₅, y de 5909 t/año de DQO; además con 709 t/año de nitrógeno; 47 t/año de fosfatos; 2955 t/año de sólidos suspendidos totales y 1.2E+19 NMP/año de bacterias indicadoras de contaminación fecal. Las mayores cargas de contaminantes domésticos son producidas por el municipio de Riohacha que genera 1928 t/año de DBO₅, 3855 t/año de DQO, 463 t/año de nitrógeno, 1928 t/año de sólidos suspendidos y 31 t/año de fósforo total y 7.7E+18 NMP/año de coliformes, se debe tener en cuenta que las altas concentraciones de sólidos, nutrientes y materia orgánica pueden afectar la calidad del agua y representan un riesgo para la salud humana, dependiendo de los sistemas de tratamiento, la disposición de las ARD y la cobertura de servicios que tenga cada población (Figura 4-4).

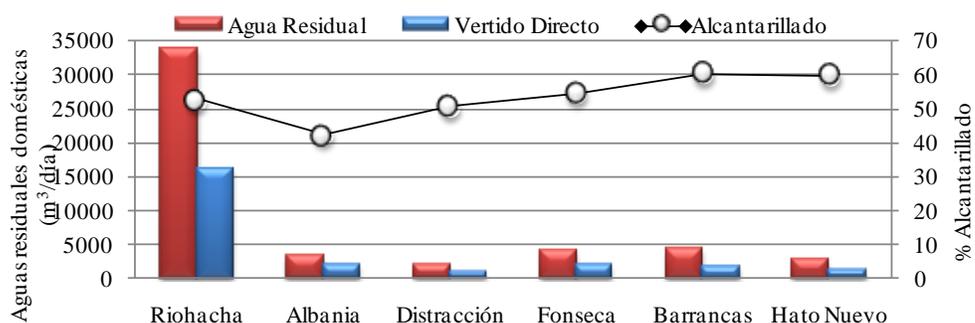


Figura 4-4. Caudal estimado de vertido de aguas residuales domésticas y distribución de la cobertura de alcantarillado en los municipios de la cuenca baja del río Ranchería. Fuente caudal: cálculo Inveimar, metodología Mindesarrollo, 2000. Fuente población y cobertura alcantarillado: Censo General 2005 proyecciones DANE 2011.

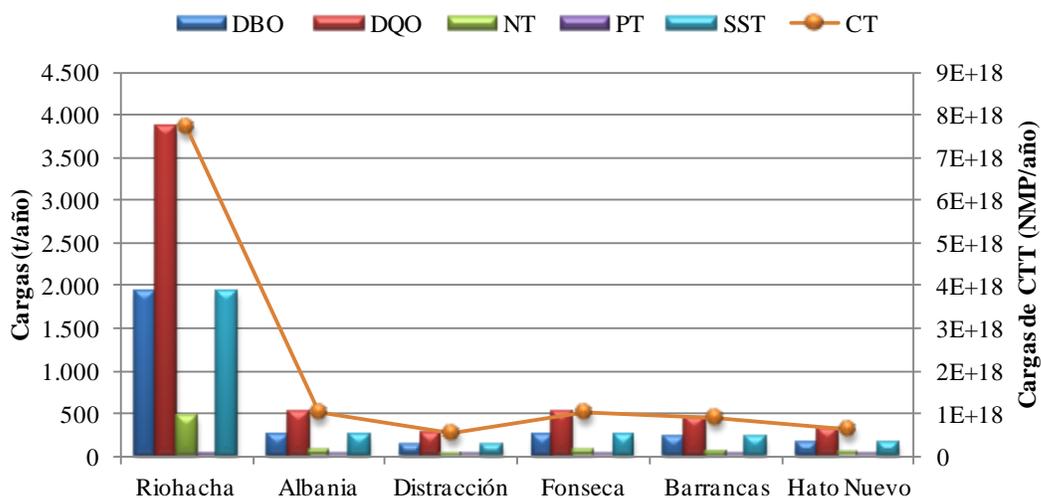


Figura 4-5. Carga anual estimada de contaminantes domésticos aportados por la población de los municipios de la cuenca del río Ranchería.

Los residuales líquidos en los municipios de Riohacha y Albania se manejan con planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), y en los demás utilizan lagunas facultativas o de oxidación (Tabla 4-2). Estos

sistemas, después del tratamiento las ARD se descargan a cuerpos de agua superficiales, en el caso de Riohacha las ARD llegan al alcantarillado a través de un sistema de colectores y redes que son vertidas finalmente al mar Caribe (Figura 4-6).



Figura 4-6. Sistemas de disposición y tratamiento de aguas residuales en municipios de La Guajira. a) Vertimiento directo de las aguas de Riohacha al Mar Caribe; b) Laguna de oxidación de Fonseca.

Tabla 4-2. Cobertura de servicios públicos y producción de residuos sólidos en seis municipios de La Guajira. Fuente: ¹SSPD, 2009; ²Concejo Municipal de Fonseca, 2008; ³DANE, 2005; ⁴Corpoguajira, 2009, MinDesarrollo, 2000.

| Municipios | ¹ Producción residuos sólidos (t/día) | ² Cobertura aseo % | ³ Cobertura acueducto % | ³ Cobertura alcantarillado % | ⁴ Tratamiento Residuales | ⁴ Disposición de residuos |
|-------------|---|----------------------------------|--|---|--|--------------------------------------|
| Riohacha | 176 | 60,4 | 69 | 53 | PTAR | Celda Transitoria |
| Albania | 13 | 87 | 65 | 43 | PTAR | Botadero Albania |
| Distracción | 8 | 90 | 61 | 51 | Laguna de oxidación | Botadero Fonseca |
| Fonseca | 16 | 40 | 80 | 54 | Laguna de oxidación | Botadero Fonseca |
| Barrancas | 17 | 100 | 69 | 60 | Laguna de oxidación | Botadero Barrancas |
| Hato Nuevo | 11 | 91,4 | 66 | 60 | Laguna de oxidación | Botadero Barrancas |

En materia de saneamiento básico cada población tiene implementado su sistema de tratamiento de ARD (Tabla 4-2), pero se presentan deficiencias, dado que la cobertura de alcantarillado en las áreas urbanas 31% de las viviendas no están conectadas a la red y el área rural alcanzan hasta el 90% (DANE, 2005). En cuanto al servicio sanitario en particular, el 49% de las viviendas tienen inodoros conectados al alcantarillado, el 19% conectado a pozo séptico y el 31% restante no tiene servicio sanitario o usan letrinas (Figura 4-7). En la mayoría de los municipios de la Guajira los sistemas de alcantarillado son antiguos y están saturados por los sólidos, que se descargan en las cámaras de inspección y por su doble uso como alcantarillado de aguas residuales y pluviales (Figura 4-8). Por ello, las redes de drenaje son ineficientes; y en algunos áreas rurales se han implementado plantas de pre-tratamiento para reducir la carga de sólidos antes de su disposición final (DANE, 2005; Corpoguajira, 2011).

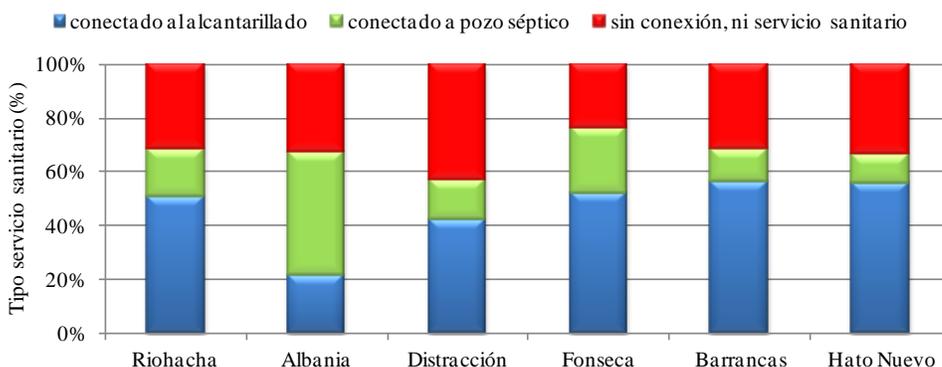


Figura 4-7. Tipo de Servicio Sanitario en los municipios de La Guajira. Fuente: Censo DANE, 2005.



Figura 4-8. Manejo de aguas residuales y pluviales municipales en el municipio de Riohacha.

De acuerdo a los resultados del monitoreo entre marzo y agosto de 2011 de los sistemas de tratamiento de ARD que realiza el laboratorio de CORPOGUAJIRA, las concentraciones de DBO_5 oscilaron entre 12 y 608 mg/L en el punto de entrada, mientras que en las salidas fluctuaron entre 8 y 281 mg/L (Figura 4-9). Los sólidos suspendidos por su parte, oscilaron entre 29 y 744 mg/L en el punto de entrada y entre 10 y 236 mg/L en la salida del sistema, siendo la PTAR del municipio de Albania, la que tiene mayor demanda de oxígeno y concentración de sólidos en suspensión, en relación al porcentaje de remoción para DBO_5 el único municipio que presenta una eficiencia debajo al 30 % a la norma es Barrancas con una eficiencia del 16 %, y para Sólidos suspendidos Totales, únicamente Barrancas y Hatonuevo muestran eficiencias menores al 50 %, con 14 y 32 %, debajo del límite permisible para vertimiento de residuos líquidos a un cuerpo de agua según lo dispuesto en el decreto 1594 de 1984.

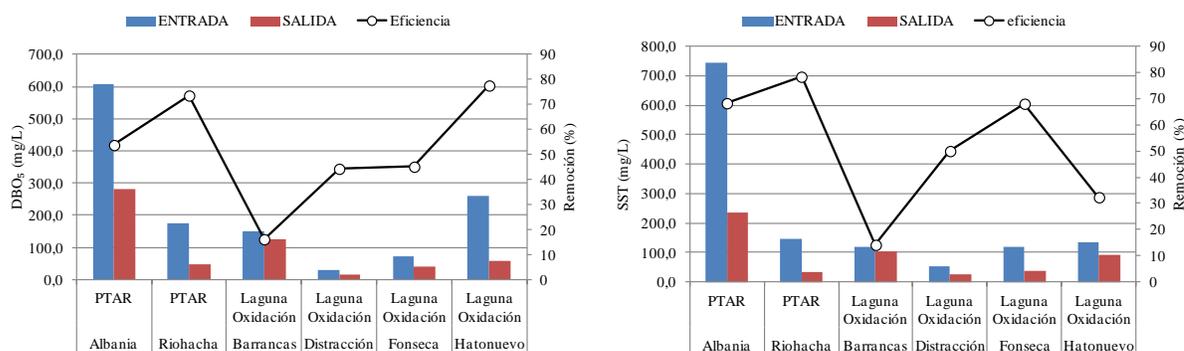


Figura 4-9. Concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y sólidos suspendidos totales (SST) y porcentaje de eficiencia en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

En cuanto al manejo de los residuos sólidos, en el 50% de las viviendas son recogidos por el servicio de aseo, el 25% queman la basura, el 14% la disponen en patio, lote, zanja (llamados botaderos satélite), el 4% los entierran y el 7% restante son arrojados a cuerpos de agua o utilizan otro tipo de eliminación, generalmente de forma inadecuada (Figura 4-10; DANE, 2005; SSPD, 2009).

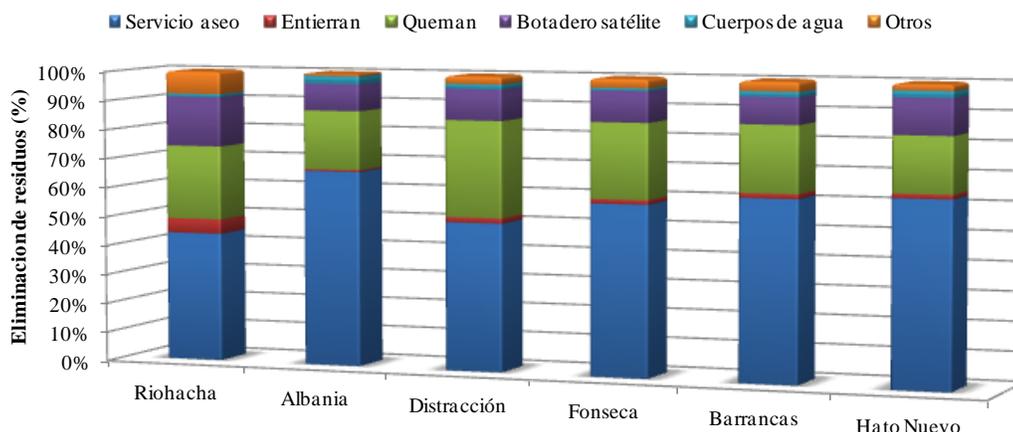


Figura 4-10. Tipos de eliminación de residuos sólidos presentes en el área de estudio.

En el departamento de La Guajira se producen en promedio 308 t/día, de las cuales 166 t/día son dispuestas en botaderos a cielo abierto, cuenta con un relleno sanitario, ubicado en el municipio de Manaure que recibe los residuos provenientes de este municipio, con una producción promedio de 10,3 ton/día y Riohacha maneja el 31% del total de la producción departamental en una celda transitoria (Tabla 4-2). Según los valores típicos de producción *pér capita* y el nivel de complejidad del sistema (Mindesarrollo, 2000b), la producción total de residuos sólidos estimada para los seis municipios del área de la cuenca fue de 241 t/día, donde Riohacha produce el 73% (Figura 4-11; SSPD, 2009), debido al mayor número de habitantes.

El inadecuado manejo y disposición de los residuos sólidos deterioran el paisaje (Figura 4-12), son fuentes potenciales de la contaminación del suelo, agua y aire, su degradación origina olores ofensivos por la putrefacción rápida de materiales orgánicos o por emanaciones de sustancias tóxicas volátiles de origen

industrial o doméstico, como pinturas y disolventes, entre otros. Adicionalmente, puede causar deterioro de la calidad de las aguas superficiales, y por la percolación de cargas contaminantes asociadas a los lixiviados, que pueden alcanzar las aguas subterráneas (Mindesarrollo, 2000b; Corpoguajira, 2011).

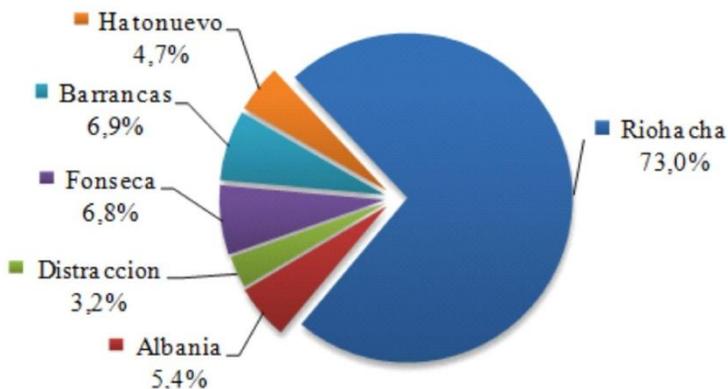


Figura 4-11. Producción de residuos sólidos estimada, de acuerdo a los valores típicos de producción per cápita para municipios de Colombia, según el nivel de complejidad del sistema (Mindesarrollo, 2000b).



Figura 4-12. Proceso de recolección y disposición final de residuos sólidos en los municipios del departamento de La Guajira. Foto: Proyecto Uniguajira, 2011

4.1.2 Actividades productivas y socioeconómicas

Agricultura

El departamento de La Guajira a pesar de tener principalmente vocación minera; es el sector agropecuario el que genera más empleo porque de las 21.084.800 hectáreas, 33691 hectáreas fueron cultivadas con 9661 cultivadores en el 2008 y 104.963 son hectáreas nuevas aptas para la agricultura (Gobernación departamental de La Guajira, 2005; Corpoguajira, 2011). Según los datos reportados por Corpoguajira (2011) de estas áreas cultivadas, los municipios con mayor cantidad de territorios agrícolas son Riohacha (23,6%), Dibulla (10,7%), Barrancas (9,1%) y Fonseca (7,5%; Tabla 4-3), donde existen en primer lugar cultivos de algodón, pastos de riego, pastos naturales y tabaco que representan el 46% del área; en segundo lugar están los cultivos de cereales como arroz, maíz, sorgo y trigo con el 26,8% de las hectáreas; y en tercer lugar las frutas y nueces como banano, frutales, guanábana, mango, naranja, papaya, piña, plátano y sandía con el 11,2 %, principalmente (Figura 10). Los cultivos sobresalientes por área cosechada y volumen de producción en toneladas son maíz, sorgo, algodón, arroz riego, frijón, patilla y tomate; así como la yuca, malanga y arracacha.

Tabla 4-3. Distribución de los territorios agrícolas en los municipios de la cuenca del río Ranchería departamento de La Guajira. Fuente: Corpoguajira, 2011.

| <i>Municipio</i> | <i>Territorios Agrícolas (has)</i> | <i>%</i> |
|------------------|--|----------|
| Manure | 796,61 | 0,2% |
| Hatonuevo | 12416,61 | 2,7% |
| Albania | 17081,25 | 3,7% |
| Distracción | 18831,47 | 4,0% |
| Fonseca | 35066,96 | 7,5% |
| Barrancas | 42512,97 | 9,1% |
| Dibulla | 49823,73 | 10,7% |
| Riohacha | 110297 | 23,6% |

En cuanto a los cultivos permanentes y semipermanentes son el café, plátano, aguacate, cítricos, mango, coco, y otros frutales los más importantes. No obstante, los sistemas tradicionales de esta zona presentan déficit en tecnología de producción, lo hace que los rendimientos sean muy bajos, caracterizándose como una agricultura de subsistencia, y requiriendo que el departamento se abastezca con la oferta de de alimentos de los departamentos vecinos. (Gobernación departamental de La Guajira, 2005; MAVDT/Corpoguajira/Fundación ProSierra, 2009; Corpoguajira, 2011).

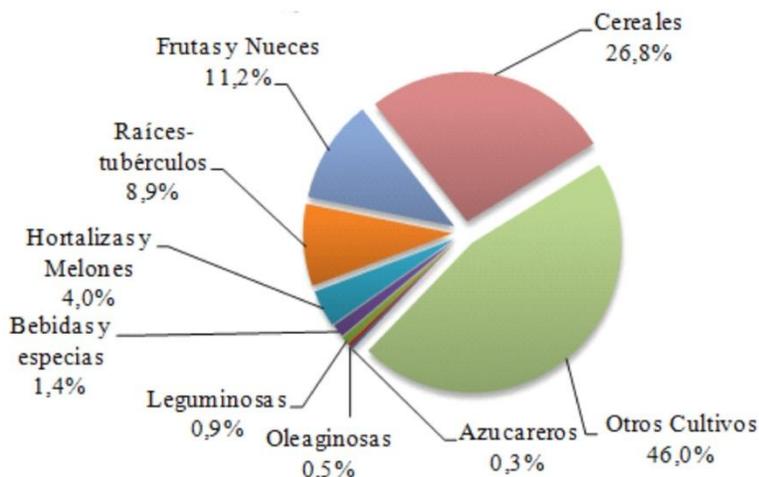


Figura 4-13. Tipo de cultivos por área cultivada (hectárea) presentes en la cuenca del río Ranchería, departamento de La Guajira, según el registro único de usuario del recurso hídrico. Fuente: MAVDT/CORPOGUAJIRA/Fundación ProSierra, 2009.

La actividad agrícola en la cuenca del río Ranchería está representada por 8 diferentes tipos de cultivos como las plantaciones de pastos, pastos de riego, pastos naturales, algodón y flores (Tabla 4-4), que consumen 821 L/s, es decir el 68% del total, y en segundo lugar están los cereales como arroz, maíz, sorgo y trigo que consumen el 23% del recurso agua (277 L/s), todos estos cultivos están presentes en los municipios de la cuenca (MAVDT/Corpogujira/Fundación ProSierra, 2009). Para estos diferentes tipos de cultivos hay un alto consumo de pesticidas comunes en la agricultura comercial como son los fosforados, hormón carbamatos, piretroides y clorinados, entre otros, particularmente para los cultivos de algodón, arroz, maíz y palma africana. Estos plaguicidas pueden provocar contaminación al medio ambiente, ya que en la literatura se han reportado un nivel de toxicidad agudo para los seres vivos, por su poder residual y alta resistencia a la biodegradación, lo cual hace más crítico su uso indiscriminado (Corpogujira, 2011).

Tabla 4-4. Grupos y tipos de cultivos presentes en los municipios de la cuenca del río Ranchería en el departamento de La Guajira, clasificados según la guía FAO (2007). Fuente: MAVDT/CORPOGUAJIRA/Fundación ProSierra, 2009.

| Grupo | Tipo de cultivo | Municipios | Consumo de agua (L/s) | Área (has) |
|-----------------|--|--|-----------------------|------------|
| Azucareros | Caña | Fonseca, Distracción, San Juan del Cesar, Barrancas | 0,61 | 9 |
| Cereales | Arroz, Maíz, Sorgo y Trigo | Albania, Fonseca, Distracción, Hato Nuevo, San Juan del Cesar, Barrancas | 276,82 | 953 |
| Frutas y Nueces | Bananito, Banano, Guamo, Guanábana, Guayabo, Huertos frutícolas, Limón, Mandarina, Mango, Manzano, Maracayá, Naranja, Papayo, Piña, Platanillo y Plátano | Albania, Barrancas, Fonseca, Distracción, Hato Nuevo, Manaure, San Juan del Cesar y Riohacha | 40,54 | 399 |
| Leguminosas | Arveja, Frijol, Haba y Habichuela | Albania, Barrancas, Fonseca, Distracción, Hato Nuevo, Manaure y San Juan del Cesar. | 1,29 | 31 |

| Grupo | Tipo de cultivo | Municipios | Consumo de agua (L/s) | Área (has) |
|----------------------|--|--|-----------------------|------------|
| Hortalizas y melones | Ahuyama, Ajo, Aji, Berenjena, Calabaza, Cebolla, Lechuga, Melón, Pepino, Rábano y Tomate | Albania, Barrancas, Fonseca, Distracción, Hato Nuevo, Manaure y San Juan del Cesar | 10,05 | 143 |
| Raíces - tubérculos | Arracacha, Batata, Malanga, Ñame, Papa y Yuca | Albania, Barrancas, Fonseca, Distracción y San Juan del Cesar | 43,09 | 315 |
| Semillas oleaginosas | Palma, Palma africana. | Barrancas y Fonseca | 7,27 | 17 |
| Bebidas y especias | Cacao, Café y Pimentón. | Albania, Barrancas, Fonseca, Distracción, Hato Nuevo, Manaure y San Juan del Cesar | 2,59 | 51 |
| Otros Cultivos | Pastos, Pastos de Riego, Pastos Naturales, Algodón, Flores | Albania, Barrancas, Fonseca, Distracción, Hato Nuevo, Manaure y San Juan del Cesar, Riohacha | 820,85 | 1634 |

En el caso de los fertilizantes, su utilización también genera situaciones no deseadas, como el proceso de eutroficación de las aguas y la aceleración de la degradación de la materia orgánica, especialmente los fertilizantes nitrogenados. En el departamento las áreas que se destacan por contaminación con fertilizantes son: las zonas de cultivo de los municipios de La jagua del Pilar, Urumita, Villanueva, EL Molino, Dibulla y Riohacha. Para otros tipos de cultivos, en el departamento de La Guajira se viene usando recientemente abono orgánico y se ha potencializado la implementación de prácticas de control natural de plagas y enfermedades (Corpoguajira, 2011).

Pecuaria

En el departamento de La Guajira, la producción pecuaria se ve limitada, porque del área total destinada para esta actividad económica, solamente el 28,41% se encuentra ocupada por pastos naturales o mejorados, el 71.59% restante corresponde a áreas ocupadas por malezas y rastrojos, dejando como cobertura para la explotación pecuaria sólo 1.542.943 hectáreas aproximadamente. En términos generales el departamento presenta una ganadería tradicional y extensiva. En las grandes explotaciones se evidencia una baja productividad y las pequeñas fincas se tienen como medio de subsistencia (Gobernación departamental de La Guajira, 2005; Alcaldía Mayor de Riohacha, 2008; Corpoguajira, 2011).

Tabla 4-5. Inventario de especies pecuarias. Fuente: Alcaldía municipal de Manaure, 2006; *Corpoguajira, 2011.

| <i>Tipo de ganado</i> | <i>Total departamento</i> |
|-----------------------|---------------------------|
| Vacuno | 306.447* |
| Porcino | 45.756 |
| Caballar | 16.810 |
| Mular | 6.647 |
| Asnal | 32.730 |
| Ovina | 535.825* |
| Caprina | 1.138.674* |

Mataderos

En cuanto a mataderos la mayoría de los municipios de La Guajira, no cumplen con las normas sanitarias, debido a que en su mayoría las infraestructuras y equipos son inadecuados para este tipo de actividades, sacrifican animales a campo abierto para la oferta de carne en los municipios. Las reses son sacrificadas en pisos y lozas improvisadas al aire libre, sin ningún tipo de control ambiental, presentan deficiencias en el manejo y disposición de los residuos sólidos y líquidos, bajo control de calidad del producto y seguimientos de inspección antes y después del sacrificio del animal, poniendo en riesgo la salud pública del consumidor (Concejo Municipal de Fonseca, 2008; Corpoguajira, 2009; Corpoguajira, 2011). En el matadero municipal de Riohacha, durante la salida de campo se observaron restos de cascos y cuernos del ganado sobre la playa, varios tubos que drenaban aguas residuales sobre la playa (Figura 4-14).



Figura 4-14. Imágenes de residuos sólidos y líquidos del matadero municipal de Riohacha

Minería

La principal actividad del sector industrial es la minera que se realiza en el complejo carbonífero de El Cerrejón ubicada en las estribaciones de la serranía del Perijá en jurisdicción de los municipios de Albania, Barrancas, Hatonuevo y Maicao. Esta minería se realiza a cielo abierto, produciendo impactos, cuando se quita la cubierta de material estéril o capa vegetal que cubre la roca carbonífera para extraer el carbón, emitiendo partículas finas a la atmósfera; la mayor concentración está en la zona de explotación, los patios de acopio y las carreteras de ingreso a las minas; también se hacen descargas de agua de la

minería hacia los cursos de agua natural; en épocas de lluvia, la escorrentía llega más rápido al río sin regulación de caudales por no tener cobertura vegetal, sino una red de canales de drenaje, presentando efluentes con trazas de nitrato de amonio de la planta de explosivos, aguas residuales de la planta de lavado de equipos con contenidos de grasas, aceites, trazas de combustible y carbón mineral. También se presenta erosión en el área de botaderos y gases por la autocombustión del carbón, siendo perceptibles por las comunidades vecinas, ya que en los tajos abiertos de manera espontánea se prenden mantos de carbón y forman óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, y gas carbónico entre otros gases, y la autocombustión aumenta en época de lluvias (Salas, 2004; Corpoguajira, 2011).

Por otro lado, las actividades de explotación carbonífera en los municipios de Albania, Barrancas y Hatonuevo presentan deterioro del paisaje, puesto que desde que inició el proyecto se han intervenido cerca de 7800 Has de suelo modificando el paisaje, esta intervención ha incidido en el desplazamiento de flora y fauna, además el transporte del carbón en vagones por la línea férrea genera a cada lado dispersión y precipitación de partículas de carbón, en todo el trayecto que comunica a Albania con Puerto Bolívar (Salas, 2004; Corpoguajira, 2011).

Expendio de gasolina

El expendio de combustible es una actividad importante que se desarrolla en la mayoría de los municipios de La Guajira, principalmente en Albania, Barrancas, Riohacha; esta práctica genera principalmente contaminación del suelo, siempre y cuando no exista un curso o cuerpo de agua que reciba directamente este tipo de residuos (Figura 4-15).



Figura 4-15. Diferentes tipos de práctica de expendio y venta de gasolina

Diagnóstico de los Departamentos del Caribe

San Andrés y Providencia



Foto: Costa norte-este de la Isla de San Andrés. Foto: Juan Pablo Parra

4.2 Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, está situado en el norte del país, en el Mar Caribe entre los 12° y 16° de latitud norte y los meridianos 78° y 82° de longitud oeste (Figura 4.2.1). Posee una superficie de 44 km², que incluye las dos islas principales y una serie de cayos (IGAC, 2008), posee una serie de ecosistemas representativos como son: bosque seco tropical, manglares, arrecifes de coral, praderas de pastos marinos y macro algas, los cuales en la actualidad se presentan diferentes niveles de intervención y/o conservación. Por otra parte San Andrés tiene una población proyectada de 77084 habitantes, y la principal actividad industrial en la isla es el turismo, asociada a esta economía coexisten otras actividades como la navegación y el buceo. El archipiélago en general carece de ríos o fuentes naturales agua dulce, excepto Providencia; por tal motivo tiene gran importancia las aguas subterráneas que son aprovechadas al máximo y las precipitaciones que sirven como fuente de agua para consumo. En la actualidad, la isla de San Andrés cuenta con una planta desalinizadora que surte parcialmente del líquido a la población (Troncoso, 2009).

En el Archipiélago de San Andrés la disposición final de residuos sólidos y los vertimientos de aguas servidas son los factores que pueden generar mayor riesgo de deterioro ambiental en sus ecosistemas (Troncoso, 2009). La isla sólo posee red de acueducto en la cabecera municipal (North End), donde se encuentra la zona residencial, comercial y hotelera de mayor densidad (Barrera *et al.*, 2001). Anteriormente, las aguas residuales eran descargadas directamente sobre la zona costera y desde el 2008 la disposición de las aguas mejoró con la puesta en operación del emisario submarino al noroccidente de la isla. Las escorrentías terrestres juegan un papel importante en la calidad de las aguas marinas, sin embargo, en la isla de San Andrés no existen cursos permanentes de agua, sólo arroyos temporales asociados a la época de lluvias (Troncoso, 2009).

Por su localización en la zona intertropical, el archipiélago de San Andrés se caracteriza por altas temperaturas que registran un promedio anual de 27,3°C. La influencia de los vientos alisios, que soplan del noreste, determina en parte las épocas lluviosas que comienzan en el mes de mayo, y alcanzan su máximo en los meses de octubre y noviembre prolongándose hasta diciembre; durante estos meses se registra el 80% de la lluvia anual, que en promedio es de 1700 mm. Las altas temperaturas y los vientos se conjugan en un clima cálido semihúmedo. A pesar de estar ubicada sin el resguardo del continente, no es frecuente que el Archipiélago esté en el curso de huracanes y tormentas tropicales, sin embargo, ello no la pone por fuera de las consecuencias de los mismos (INVEMAR, 2003). Los resultados de la REDCAM han mostrado una que los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro del rango normal para este tipo de aguas, los contaminantes orgánicos como los hidrocarburos, e inorgánicos como metales pesados se han encontrado en niveles inferiores a los considerados como de riesgo, por otra parte los nutrientes y la calidad microbiológica han mostrado valores de riesgo en algunas estaciones.

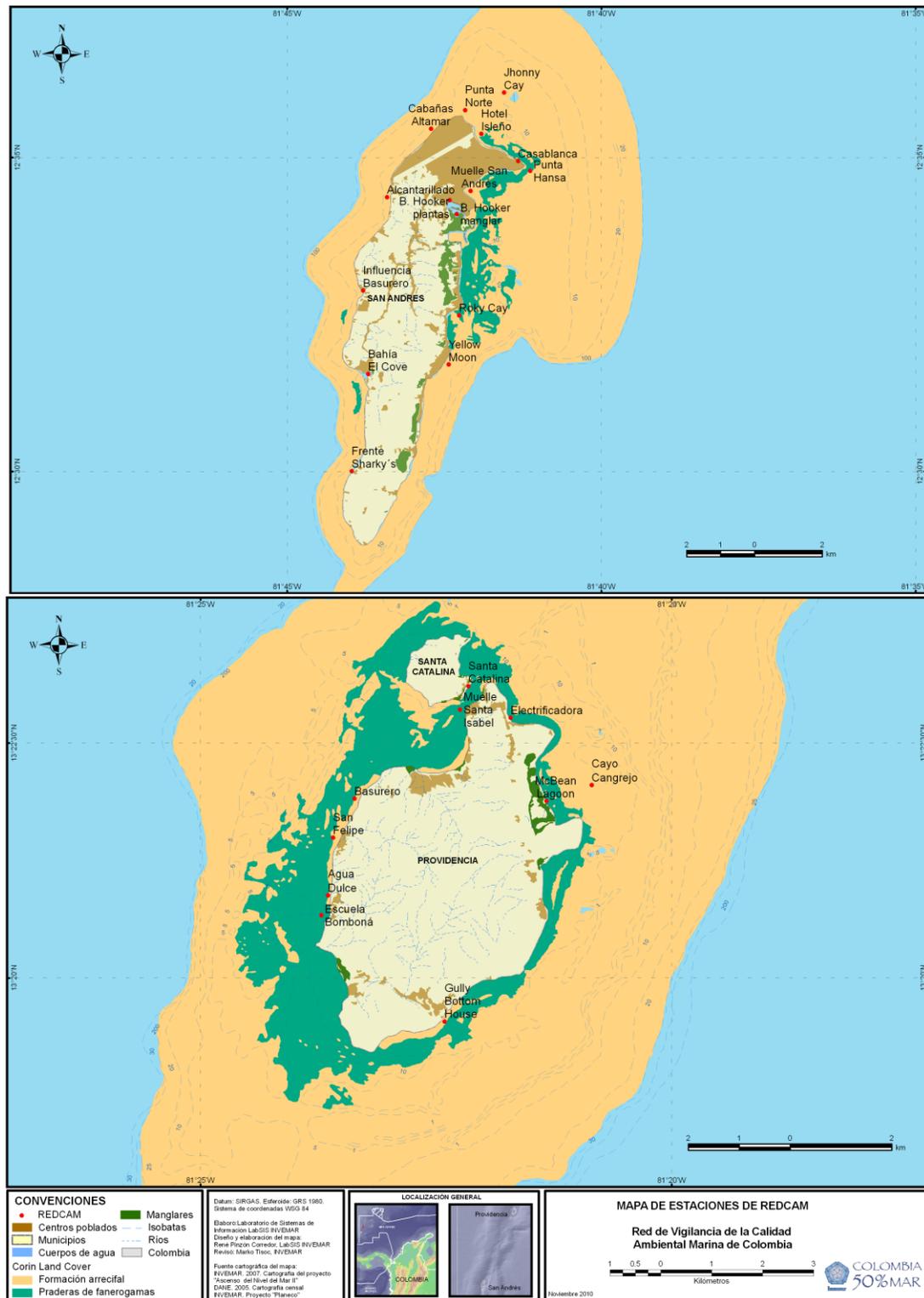


Figura 4.2.1. Estaciones de muestreo en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina

4.2.1 Variables Fisicoquímicas

4.2.1.1 *In situ*

Durante el periodo comprendido entre la época de lluvias de 2010 y época seca de 2011, se observó que en el 60 % de las estaciones muestreadas en la época seca de 2011 en la isla de Providencia y Santa Catalina el oxígeno disuelto (OD) mostró valores ligeramente inferiores al límite de 4,0 mg/L establecido para la preservación de la flora y la fauna (Decreto 1594 de 1.984, Art. 45; Minsalud, 1984), estas estaciones fueron Gully Bottom House (3,5 mg/L) McBean Lagoon (2,9 mg/L), Santa Catalina (3,3 mg/L), Electrificadora (3,4 mg/L), Escuela Bombona (3,8 mg/L) y Muelle Santa Isabel (3,4 mg/L) (Figura 4.2-2) todas estas estaciones ubicadas en las islas de Providencia y Santa Catalina; mientras en la época de lluvias de 2010 todas las estaciones registraron valores por encima del límite referenciado en la norma. Por otra parte en aguas costeras de la isla de San Andrés, los valores de OD registradas durante la época seca de 2011 están por encima del valor de referencia. Pese a los cambios observados entre épocas y estaciones de muestreo en Providencia, Los valores registrados en el periodo estudiado son coherentes con la tendencia y el rango histórico que ha presentado el OD en las costas del archipiélago, que es de 2,9 a 12,0 en época seca y 1,3 a 12,0 en época lluviosa (INVEMAR, 2011).

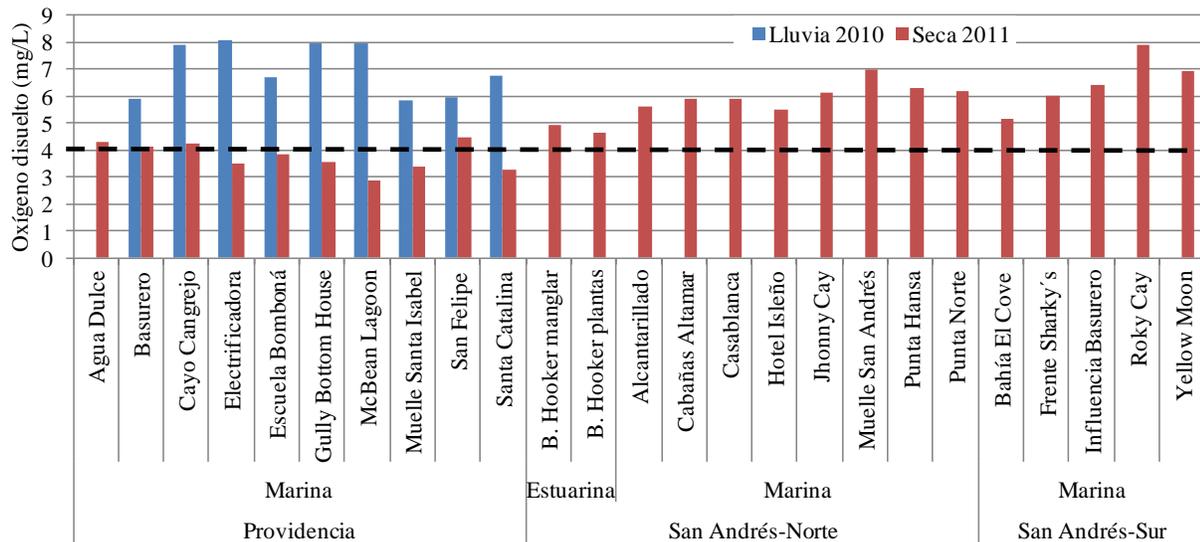


Figura 4.2-2 Comportamiento del oxígeno disuelto (mg/L) en aguas superficiales del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011. La línea punteada corresponde al límite permisible de 4 mg/L para preservación de flora y fauna decreto 1594 de 1984)

Con referencia al pH, este no presentó mayores variaciones entre épocas y estaciones de muestreo en el periodo analizado manteniendo valores en el rango de 7,24 a 8,42 y 7,82 a 8,30 en la época de lluvias de 2010 y época seca de 2011 respectivamente; excepto por la estación de Bahía Hooker (plantas) la cual presentó en la época seca de 2011 una disminución de aproximadamente una unidad de pH, con respecto al valor en la época lluviosa de 2010 (7,24 y 8,03 respectivamente). No obstante, los valores registrados son coincidentes con el promedio histórico (2000-2011) que ha presentado esta zona de muestreo ($8,05 \pm 0,71$; INVEMAR, 2011)

Igualmente, la salinidad del agua superficial no presentó grandes variaciones ni entre épocas de muestreo y tipos de aguas (Figura 4.2-3), manteniendo valores muy cercanos a 35,0, valor característicos o normal en aguas marinas (Cifuentes, et al., 2009). El valor promedio para la época lluviosa de 2010 fue de $34,1 \pm 9,2$ y el de la época seca 2011 de $35,0 \pm 8,8$, que son concordantes con el promedio histórico general $35,5 \pm 14,0$ (2001-2011; INVEMAR, 2011).

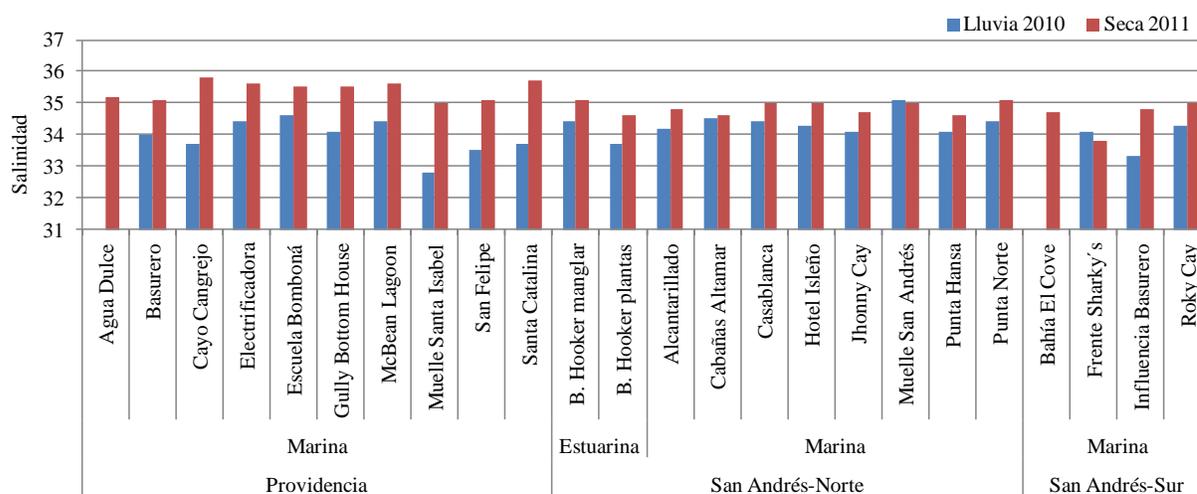


Figura 4.2-3. Comportamiento de la salinidad en aguas superficiales del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011

La temperatura registró ligeras variaciones entre épocas y tipos de aguas. Para el periodo evaluado, el valor promedio en la época lluviosa 2010 fue de $28,4 \pm 1,0$ °C en tanto que en la época seca fue $27,9 \pm 1,0$ °C. Estos cambios están en el rango de temperatura (24 a 27 °C) y variaciones normales en aguas superficiales oceánicas, disminuir hasta 0,72 °C y de aumentar 6,0 °C (Seóanez, 2000).

4.2.1.2 Nutrientes y Sólidos Suspendidos Totales

El contenido de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial del departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina fueron bajas con relación al promedio nacional histórico ($44,2 \pm 57,2$ mg/l, INVEMAR, 2011); durante el muestreo de las épocas lluviosa 2010 y seca 2011, se obtuvo un promedio en este departamento de $4,4 \pm 2,9$ mg/l (Figura 4.2-4). En la época lluvia el 68 % de las estaciones presentaron valores más altos (de 2,0 a 7,2 mg/L) de SST que en la época seca, aunque no fue una tendencia general en todas las estaciones, el intervalo de SST en la época seca fue de 1,0 a 5,0 mg/L a excepción de las estaciones McBean Lagoon (18 mg/L), Gully Bottom House (14 mg/L) y Bahía hooker plantas (9 mg/L) que mostraron valores más altos. Históricamente, las concentraciones de SST en estas islas han sido generalmente bajas con relación a otras zonas costeras del país, en los 10 años de monitoreo de la REDCAM, con 75% de los datos históricos por debajo de 10 mg/L (INVEMAR, 2011). Sin embargo, las condiciones ambientales de algunas épocas específicas, como la época lluviosa 2007 y seca y lluviosa de 2008, han registrado concentraciones más altas (10 a 30 mg/L), pero en comparación con el valor de referencia para perturbación a la reproducción de corales de 50 mg/L (Fabricius, 2005), las concentraciones de SST en San Andrés y Providencia no deberían presentar un riesgo a los ecosistemas coralinos.

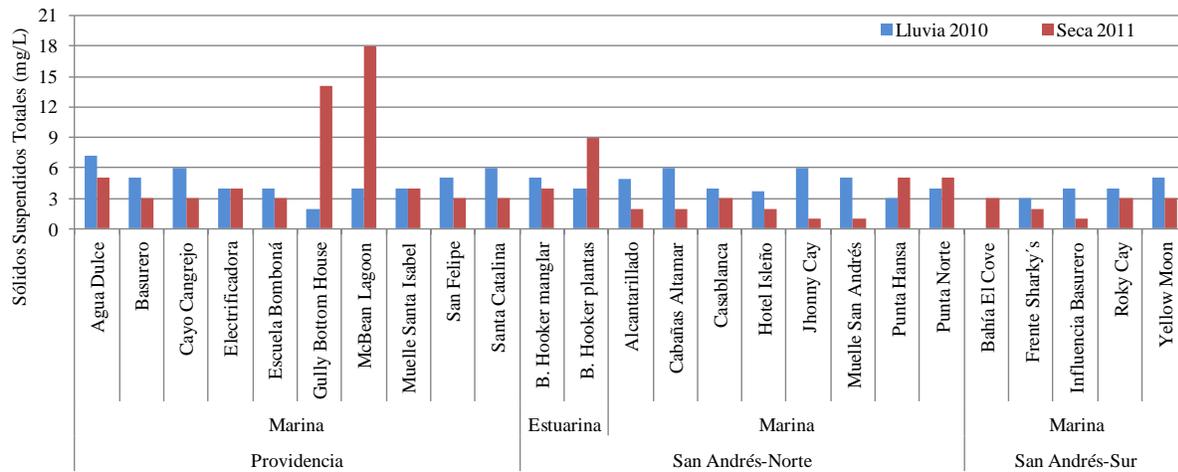


Figura 4.2-4 Concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) en aguas superficiales en las estaciones del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

Las concentraciones de las formas de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), en términos de nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) y amonio (NH_4), se muestran en la Figura 4.2-5. No se evidencia una tendencia marcada del NID entre las épocas climáticas, mostrando que la presencia de los nutrientes no está controlada únicamente por la escorrentía en la época de lluvias, sino también de las descargas directas o el flujo de las aguas subterráneas. Los datos no muestran alta variación espacial aunque algunas estaciones en el norte de San Andrés muestran mayores niveles de NID, cerca del área más poblada. Las proporciones de NID entre sus compuestos de NO_3 (68%), NO_2 (3%) y NH_4 (29%) fueron generalmente consistentes para todas las estaciones.

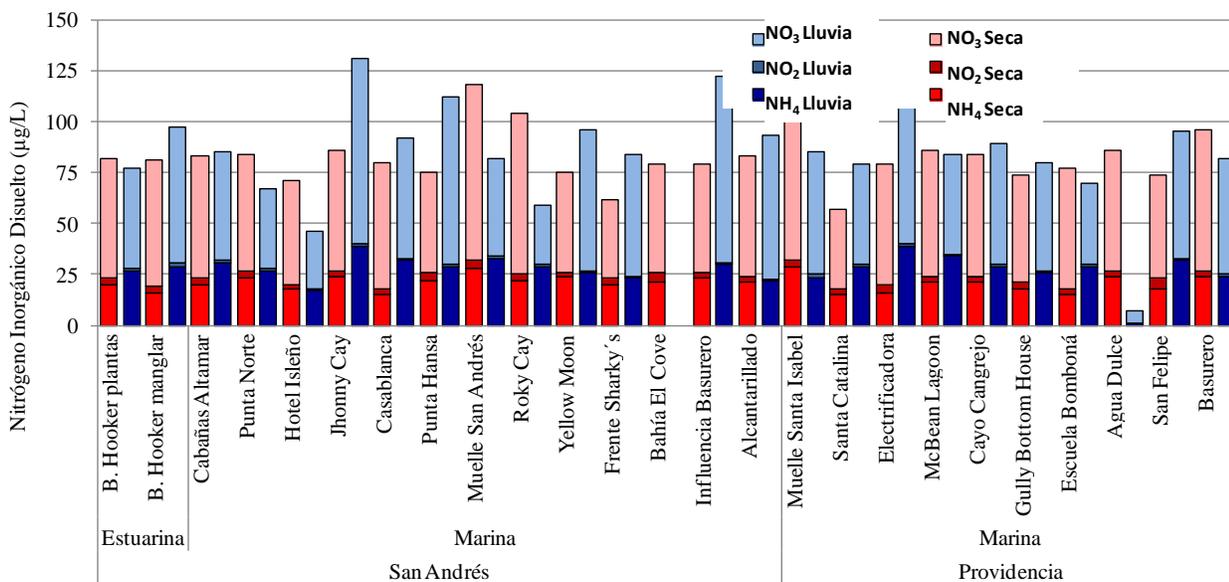


Figura 4.2-5 . Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (µg/L) en las formas de: amonio (NH_4), nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3) en aguas superficiales de las estaciones de muestreo en el departamento del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en la épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

Las concentraciones de fosforo reactivo soluble (FRS) en las aguas superficiales de la zona costera, no mostraron una marcada tendencia entre las épocas climáticas (Figura 4.2-6), que como se mencionó anteriormente puede estar relacionado al eventos La Niña que se presentó durante este periodo y que no permitió una clara diferenciación entre las épocas climáticas principales. Especialmente se nota una diferencia clara entre las dos islas con valores superiores a 100 µg/L en algunas estaciones en San Andrés, particularmente en las costas norte y oeste, cerca el centro poblado y el emisario submarino (Jhonny Cay 116 y 401 mg/L; Casablanca 192 y 167 mg/L en las épocas de lluvias y seca respectivamente, en Punta Hansa 206 mg/L, Yellow Moon 126 mg/L en la época seca de 2011), mientras que las estaciones en Providencia tuvieron FRS en un rango de 15-59 µg/L. Esta diferencia entre las dos islas puede estar relacionado con el tamaño de su población, la más alta siendo en San Andrés, en consideración que concentraciones de fosforo son típicamente asociados con actividades antropogénicas ([ArandaCirerol, 2006](#)). El valor extremo encontrado en Jhonny Cay en la época seca (401 µg/L) llama la atención, ya que en la misma época de 2010 se encontró una concentración parecida (351 µg/L), aunque históricamente 95% de los datos de FRS de esta estación han estado igual o menos que 80 µg/L.

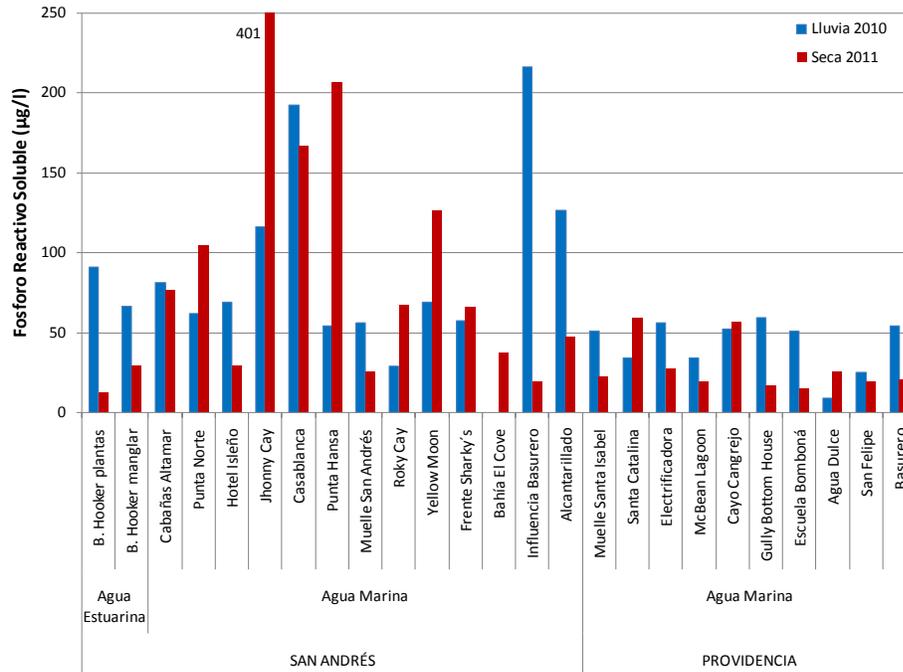


Figura 4.2-6 Concentraciones de fosforo reactivo soluble (FRS, µg/L) medidos en estaciones de aguas superficiales del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

La magnitud de las concentraciones de las nutrientes en San Andrés y Providencia ha sido generalmente altas en comparación con los valores reportados en las zonas costeras del resto del país y corroboran análisis anteriores que muestran que las concentraciones de estos compuestos han presentado una tendencia a incrementar a través de los años ([Vivas-Aguas et al. 2010](#)). Estos resultados presentan un tema de preocupación para la conservación de las áreas coralinas en consideración de los valores de referencia reportados para estados de florecimiento permanente de macroalgas frondosas en arrecifes del Caribe (NID = 14,0 µg/L; FRS = 3,1 µg/L; [Lapointe 1997](#)) e impactos potenciales a la fisiología de corales (NID = 14,0 µg/L; FRS = 62,0 µg/L; [Fabricius 2005](#)). Investigaciones sobre las posibles fuentes que incrementarían los nutrientes serán muy pertinentes para la conservación de estos ecosistemas que son

importantes como recursos naturales y turísticos. Sin embargo, se reconoce que la confiabilidad de estos datos se podría aumentar con el desarrollo de mejores técnicas de análisis del laboratorio.

4.2.2 Contaminación Microbiológica

Generalmente, el departamento se ha caracterizado por presentar bajas concentraciones de indicadores de contaminación fecal, lo cual refleja condiciones sanitarias óptimas en sus cuerpos de agua. En este periodo (época de lluvias 2010 y seca de 2011), los coliformes totales (CTT) oscilaron entre 2 – 1.600 NMP/ 100 mL, sin tener en cuenta los datos <2 y >1600 NMP/ 100 mL, y los termotolerantes (CTE - antes denominados fecales) entre 1 – 1.600 NMP/ 100 mL, sin presentarse diferencias entre épocas ($p > 0,05$). En las estaciones que son empleadas para recreación, los CTT estuvieron por debajo de los niveles establecidos en la legislación colombiana para la práctica de deportes náuticos (< 5.000 NMP/100 mL); En el caso de las playas destinadas a actividades de contacto primario, como baño y natación, sólo las estaciones Agua dulce y Muelle Santa Isabel en Providencia, y Frente Sharky's en San Andres registraron niveles de coliformes totales superiores a lo establecido en la normatividad nacional (CTT < 1000 NMP/100 mL; Minsalud, 1984). Con respecto al límite de coliformes fecales en aguas destinadas a actividades de contacto primario (200 NMP), solo la estación Muelle Santa Isabel en Providencia superó dicho límite máximo admisible.

Históricamente, San Andrés y Providencia han mostrado niveles bajos de coliformes, sin embargo en el caso de Agua Dulce y Frente Sharky's los valores de CTT registrados en el periodo 2010-2011 son los más altos en los últimos 10 años, ya que estos valores superan más de cuatro veces los registros máximos históricos (Figura 4.2.7). Aún cuando los coliformes totales a nivel mundial han sido limitados para la evaluación de calidad de aguas marinas recreacionales y se recomienda el uso de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* o enterococos, por que presenta una mejor relación con la presencia de agentes patógenos y contaminación de origen fecal (Savitchcheva y Okabe, 2006; USEPA, 2000), es importante considerar las fuentes que están generando la presencia de este grupo de microorganismos en las estaciones relacionadas y continuar la vigilancia microbiológica de estos sitios, teniendo en cuenta la importancia de estas zonas en la actividad turística del departamento.

En el caso de Muelle Santa Isabel, se presentaron condiciones insuficientes de calidad tanto en la época lluviosa del 2010 como en la seca del 2011, con niveles de CTE de >1600 para ambas épocas analizadas. Esta zona es empleada principalmente por pobladores locales para sus actividades de recreación, donde se exponen al riesgo de adquirir microorganismos causantes de enfermedades, especialmente las poblaciones infantiles que son más susceptibles (Dufour *et al.*, 2006).

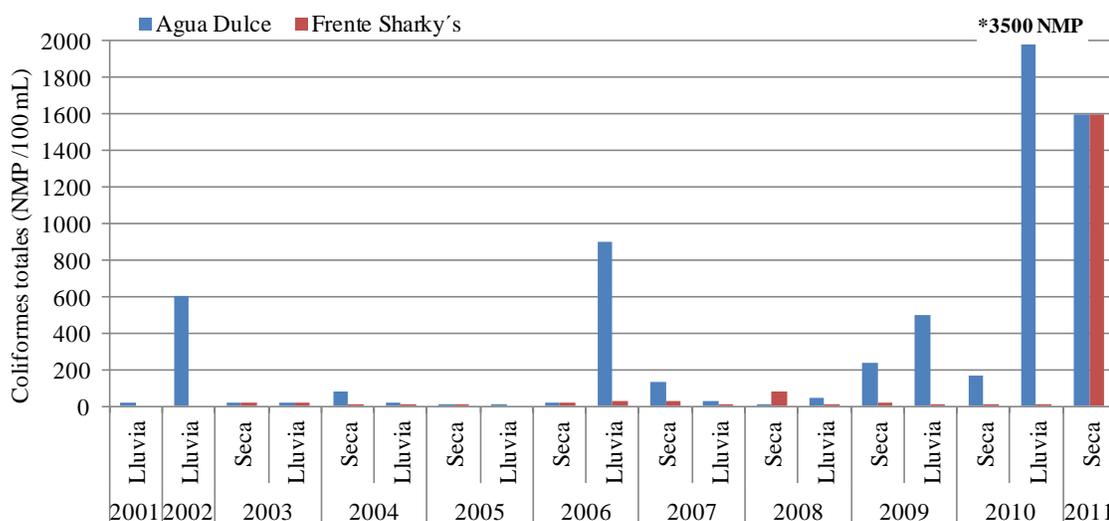


Figura 4.2.7. Concentración histórica de coliformes totales (NMP/100 mL) en las estaciones Agua Dulce y Frente Sharky's, del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en la época de lluvias y Seca entre 2001 y 2011.

4.2.3 Hidrocarburos

En la época de lluvias de 2010 los mayores valores de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos - HDD se registraron en las estaciones ubicadas en el alcantarillado (2,96 µg/L) y el Basurero (0,91 µg/L), esto pudo deberse al fenómeno de La Niña, donde se presentaron incrementos en las precipitaciones entre 40 – 70% al promedio histórico de la época (IDEAM, 2010), debido a las escorrentías que lavan los suelos de la isla, a la actividad portuaria, transporte marítimo, turismo, aguas servidas y lavaderos de vehículos en la zona, no obstante los valores registrados no superan el nivel de referencia de 10 µg/L establecido por la UNESCO (1984) para aguas no contaminadas para la preservación de flora y fauna (Figura 4.2.8.).

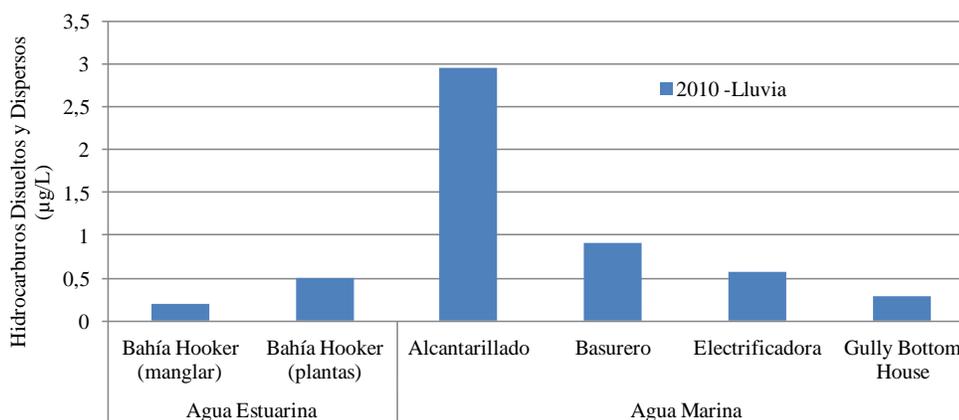


Figura 4.2.8. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) medidas en aguas superficiales del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en la época lluviosa de 2010.

El análisis de HDD en este departamento se inició en el 2001 hasta la actualidad, siendo estaciones ubicadas en las bahías Hooker, el Cove y el alcantarillado donde se han encontrado las mayores

concentraciones de este contaminante en la zona costera del departamento, mostrando en la época de lluvias un ligero aumento que puede ser debido al lavado de los suelos. En la época de seca de 2002, se registraron concentraciones por encima del valor de referencia de 10 $\mu\text{g/L}$ de UNESCO (1984) para aguas contaminadas en la estación Bahía el Cove 10,09 $\mu\text{g/L}$ y en la época de lluvias del mismo año en las estaciones ubicadas en las bahías el Cove 15,38 $\mu\text{g/L}$, Hooker manglar 13,92 $\mu\text{g/L}$ y Hooker plantas 25,17 $\mu\text{g/L}$, Gully Bottom House 10,01 $\mu\text{g/L}$ y Muelle San Andrés 17,02 $\mu\text{g/L}$ (Figura 4.2-9). Después de 2002 las concentraciones de HDD detectadas en aguas superficiales han estado por debajo de los valores de referencia para aguas no contaminadas para la preservación de flora y fauna.

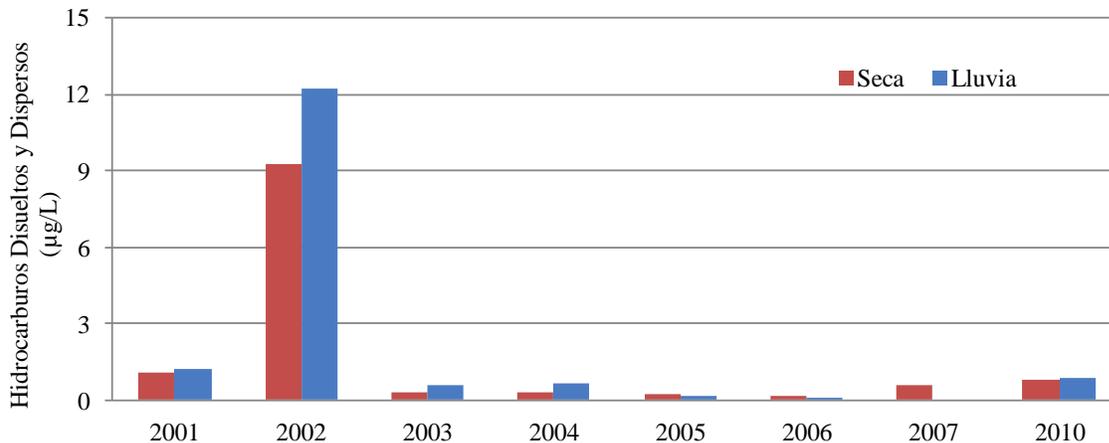


Figura 4.2-9. Promedios históricos de hidrocarburos medidos en aguas superficiales del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, entre 2001 y 2010.

4.2.4 Metales Pesados

El vertimiento de aguas residuales y lixiviados de residuos sólidos pueden influir en la calidad de las aguas en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, debido a la creciente expansión de las zonas urbanas; las condiciones del acueducto y alcantarillado que se ven reducidas, la disposición de los residuos sólidos producidos cuyos lixiviados finalmente son vertidos al mar, pueden alterar las condiciones ambientales generando posibles fuentes de contaminación por tóxicos químicos como es el caso de los metales pesados.

El análisis de metales pesados en la época de lluvias mostro bajas concentraciones de cadmio y cromo obteniéndose datos por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada en todas las estaciones monitoreadas, mientras el plomo mostro valores en el rango de 2,16 a 10,75 $\mu\text{g/L}$, siendo la estación de Gully Botton House la que presento la mayor concentración (10,75 $\mu\text{g/L}$) no obstante esta valor está muy por debajo del límite considera como riesgo de efectos probables para os organismos en agua marina (210 $\mu\text{g/L}$, Buchman, 2008).

El análisis de metales en este departamento se inició en el 2001 hasta la actualidad, los rangos de los elementos monitoreados han estado por debajo de los valores considerados como de riesgo, el cadmio ha prestado un rango desde el límite de detección hasta un máximo de 5,00 $\mu\text{g/L}$, mientras el cromo mostro valores desde el límite de detección hasta u máximo de 1,36 $\mu\text{g/L}$, sin embargo estas concentraciones se encuentran muy por debajo de los referenciados en normas internacionales como de riesgo (40 $\mu\text{g/L}$ Cd Buchman, 2008 y Cr 50 $\mu\text{g/L}$ Conama, 1986). En cuanto al plomo las diversas actividades antropogénicas que se efectúan en la zona Sur y Norte del archipiélago pueden ejercer un efecto en la concentración y movilidad de plomo, constituyéndose este elemento en el de mayor presencia para el archipiélago. El rango registrado de concentración de este elemento a lo largo del monitoreo es de 1,20 a 56,49 $\mu\text{g/L}$, sin

embargo las mayores concentraciones se han registrado al inicio del monitoreo 2001-2002 a partir de esta fecha la tendencia general ha sido a disminuir. Los resultados muestran que en general la zona de Providencia presenta las menores concentraciones de los elementos analizados.

4.2.5 Conclusiones

De acuerdo a los resultados del periodo evaluado (época de lluvias 2010 y época seca de 2011) en las variables fisicoquímicas de interés como oxígeno disuelto, salinidad, pH y temperatura, los valores se encontraron dentro de los promedios históricos para esta región insular, sin embargo, el 60% de las estaciones en la isla de Providencia y Santa Catalina en la época seca de 2011 presentaron concentraciones de oxígeno disuelto por debajo del límite mínimo permisible establecido en aguas según la legislación colombiana la preservación de vida y flora acuática, por lo cual se recomienda mantener el monitoreo y evaluar otras variables que puedan asociarse a esta disminución de oxígeno como el contenido de materia orgánica entre otras, que pudieran indicar las causas.

Los valores de SST en las islas de San Andrés y Providencia han sido generalmente bajas, permitiendo una alta transparencia para la conservación de los ecosistemas marinos. Sin embargo, los datos de nutrientes continúan mostrando niveles altos en comparación con el resto del país y con valores de referencia para la conservación de los ecosistemas coralinos. La zona norte de San Andrés, cerca al área más poblada, presenta los mayores valores de nutrientes en el año actual, y los valores similares de los nutrientes entre épocas sugiere de la entrada de estos a las aguas marinas no es controlada únicamente por eventos de escorrentía, sino por fuentes continuas como descargas directas o el flujo de las aguas subterráneas.

Durante los muestreos realizados en la época de lluvias del 2010 y seca del 2011, las estaciones Frente Sharky en San Andrés, así como Agua Dulce y Muelle Santa Isabel en Providencia presentaron concentraciones de coliformes superiores a los valores de referencia establecidos en la legislación nacional para aguas destinadas a actividades de contacto primario, como baño y natación. Desde el 2003 las concentraciones de HDD en aguas son muy inferiores al valor de referencia (<10 µg/L) y no reflejan los impactos de estos contaminantes sobre el ambiente debido al carácter hidrofóbico de estos compuestos. En general las concentraciones promedio obtenidas para los metales pesados analizados (Cd, Cr, Pb) durante el periodo de muestreo en este departamento son bajas y están por debajo de los referenciados en normas internacionales como de riesgo.

La Guajira



Cuenca baja del río Cañas. Foto: Silvia Narváez

4.3 LA GUAJIRA

La Guajira está situada en el norte del país, en el Mar Caribe, entre los 10° 20' y 12° 30' de latitud norte; 71° 01' y 73° 41' de longitud oeste. Posee una superficie de 20.848 km², de los cuales 789 km corresponden a línea de costa. Se caracteriza por con un clima semiárido, con una temperatura promedio de 30 ± 2 y humedad relativa entre el 80 al 90% (Posada y Henao, 2008). La calidad del agua en la zona costera se encuentra influenciada por los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales, las basuras, la actividad marítima, portuaria, turística y agrícola (Garay *et al.*, 2004).

El departamento se encuentra dividido en dos regiones: La Alta Guajira y La Baja Guajira. A lo largo de estas regiones se localizaron 27 estaciones, de las cuales 17 son marinas, 8 fluviales y 2 estuarinas. En la Alta Guajira se localizan las áreas de muestreo del Cabo de la Vela, Manaure y los Puertos Bolívar y Nuevo. Mientras que en la zona de la Baja Guajira se encuentran las estaciones en el área de influencia de las poblaciones de Riohacha, Camarones y Dibulla; así como el conjunto de tributarios desde río Palomino hasta el río Tomarrazon (Figura 4.3-1).

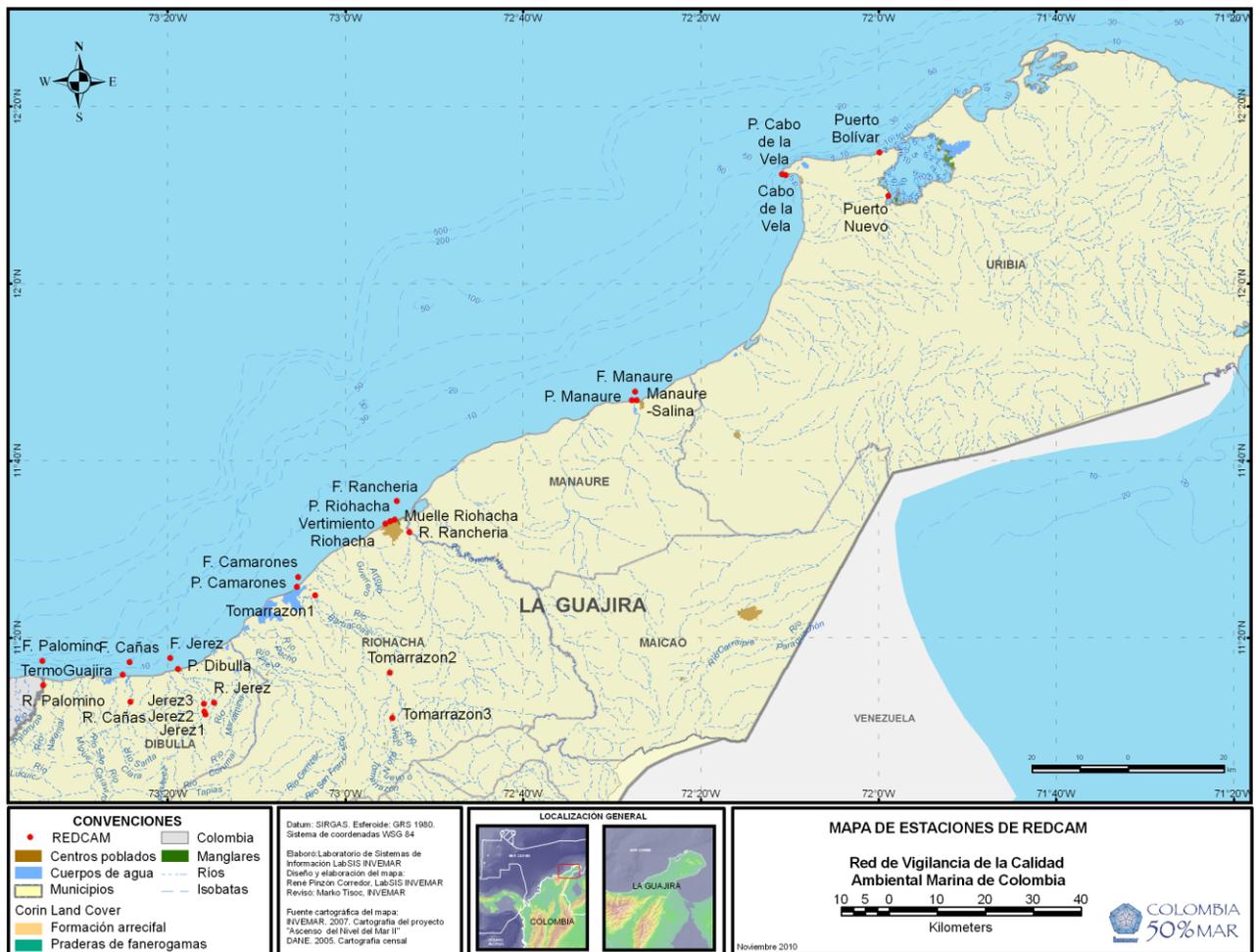


Figura 4.3-1. Estaciones de muestreo en el departamento de La Guajira

4.3.1 Variables Fisicoquímicas

4.3.1.1 *In situ*

Históricamente, las aguas costeras del departamento de La Guajira han mostrado buenas condiciones fisicoquímicas (oxígeno, pH, temperatura, salinidad) de acuerdo a los lineamientos de calidad establecidos por la legislación colombiana (Minsalud, 1984) para la preservación de la vida acuática. Durante el presente el periodo se observaron valores superiores de oxígeno disuelto (OD) en la época lluviosa del 2010 ($7,48 \pm 0,96$) en comparación con la seca de 2011 ($5,08 \pm 0,55$). La reducción en los niveles de oxígeno fue en promedio del 33%, no obstante todas las estaciones presentaron valores óptimos para preservación de la flora y la fauna de los ecosistemas en la zona, ya que los valores fueron superiores al límite mínimo permisible nacional de 4 mg/L (Minsalud, 1984). Los cambios observados en las concentraciones de oxígeno, se pueden explicar sobre la base de posibles procesos físicos de intercambio en la interfase aire-agua (Cifuentes et al., 2003), de procesos fotosintéticos que ocurren a nivel de superficie y en algunos casos los movimientos turbulentos de las aguas que la enriquecen de gases y producen aumento en la concentración de oxígeno en la capa superficial (Silva y Guerra, 2008). En comparación con el comportamiento histórico, los valores registrados durante las dos épocas de muestreo se encuentran dentro del rango presentado para esta variable durante los últimos 11 años de monitoreo ($6,84 \pm 2,31$ mg/L; INVEMAR, 2011).

Con respecto al pH, se observó que en aguas marinas los valores no mostraron mayores cambios presentando un rango muy estrecho debido a la capacidad buffer del sistema carbonato/bicarbonato/ácido carbónico (Garbagnatti et al., 2005). El rango de valores para este grupo de estaciones estuvo entre $8,15 \pm 0,14$ durante la época de lluvias y $8,12 \pm 0,07$ durante la época seca. Contrariamente, en aguas estuarinas y dulces (ríos) la variación de pH resultó más amplia, precisamente por su condición de zonas de mezcla, que denotan de una parte la intrusión salina y de otra los aportes de aguas fluviales en algunas épocas climáticas en particular, así como de aguas residuales, especialmente en los ríos. Aunque temporal y espacialmente no se observó una tendencia general definida, es de destacar un ligero descenso en los valores de pH en la época seca de 2011 en la mayoría de las estaciones. Pese a los cambios observados, los valores registrados durante estas dos épocas de muestreo se enmarcaron dentro del rango histórico visto en esta variable: $8,09 \pm 0,39$ en aguas marinas, $8,06 \pm 0,72$ en aguas estuarinas y $7,74 \pm 0,72$ en aguas dulces

En el caso de la salinidad, las variaciones más relevantes fueron observadas en aguas marinas las cuales explican los cambios del régimen hidrológico presentado en la región. Para este grupo de estaciones, los valores de salinidad presentaron rangos entre 3,0 y 29,6 durante la época lluviosa de 2010 y entre 24,5 y 37,1 durante la época seca de 2011. Se observó una tendencia temporal de la salinidad a aumentar en la época seca de 2011, comportamiento que pudo estar influenciado por la presencia estacional de los conocidos eventos de surgencia causados por transporte de Ekman y la acción de vientos continentales en el Caribe colombiano durante la época seca (Arévalo y Franco, 2008) (Figura 4.3-2). En las dos estaciones que conforman las aguas estuarinas los valores tendieron a mantenerse en el mismo orden de magnitud durante las dos épocas. Al comparar los resultados obtenidos con el promedio histórico de la salinidad para las aguas costeras de este departamento, se observó que los datos de este periodo se mantienen en el mismo rango de variación de los últimos 11 años ($35,4 \pm 13,9$ en época seca y $30,6 \pm 13,9$ en época lluviosa; INVEMAR, 2011).

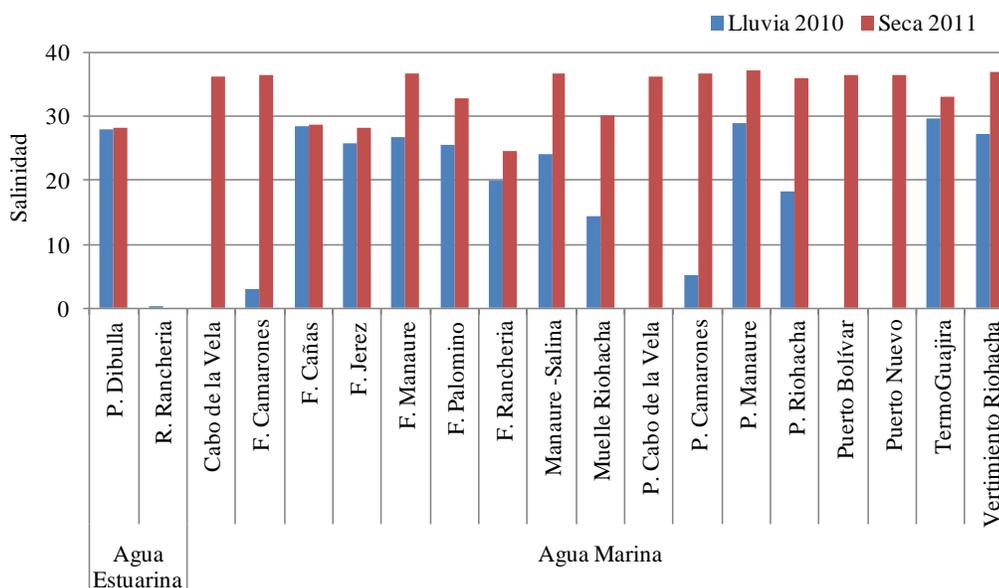


Figura 4.3-2 Comportamiento de la salinidad en aguas superficiales de la zona costera del departamento de La Guajira, durante la época lluviosa de 2010 y seca de 2011

Al igual que la salinidad, se observaron cambios notorios en la temperatura del agua, principalmente en aguas marinas en donde los rangos de variación estuvieron entre 27,7 y 39,6 °C para la época lluviosa de 2010 y entre 24,0 y 29,7 °C en la época seca 2011. El máximo valor de temperatura se registro en la estación Junto Termoguajira (39,6 °C), producto de las aguas residuales que son descargadas a la zona marina en el proceso de generación de energía. La variabilidad de la temperatura entre las épocas lluviosa y seca es consistente con la climatología y oceanografía de la región. Las temperaturas son bajas en la época seca, de diciembre a abril, cuando los vientos alisios y la surgencia en la Guajira son más fuertes. Contrariamente son más altas en la época húmeda, de mayo a noviembre, cuando los vientos alisios se encuentran débiles y la contracorriente del Darién al nivel superficial está más desarrollada, tal como se ha visto históricamente en los resultados (Bernal *et al.*, 2006)

4.3.1.2 Sólidos y Nutrientes

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en aguas superficiales marinas y estuarinas fueron más altas en la época seca 2011 que en la época lluviosa 2010 ($p < 0.05$), (Figura 4.3-3). Este resultado podría deberse a aspectos específicos del periodo de muestreo, tales como las condiciones hidrológicas que generan más escorrentía o condiciones oceanográficas como la surgencia (Bernal *et al.*, 2006), las cuales contribuyen a la suspensión de sedimentos en la zona costera. Los ríos monitoreados en La Guajira se encuentran en la zona sur-oeste del departamento y mostraron alta variación espacial en sus concentraciones de SST; mientras la mayoría de los tributarios estuvieron en el rango de 1 – 15 mg/L, en las estaciones Río Jerez y Tomarrazon 3 se encontraron valores de 265,6 y 709,0 mg/L, respectivamente; lo anterior sugiere la presencia de una fuente significativa de sedimentos en las microcuencas de estas estaciones. Las aguas marinas también presentaron variación espacial con niveles elevados de SST en las aguas de Riohacha, Camarones y Puerto Bolívar, lo cual se esperaría por la actividad antropogénica en estas zonas. Al comparar con el registro histórico, las concentraciones de SST obtenidas en Puerto Bolívar (131,9 mg/L) y Muelle Riohacha (160,4 mg/L) en la época seca del 2011 han sido las más altas desde que

inicio el monitoreo REDCAM, en tanto que las estaciones de Playa Camarones, Playa Riohacha y Vertimiento Riohacha han alcanzado niveles similares de manera recurrente (INVEMAR, 2011).

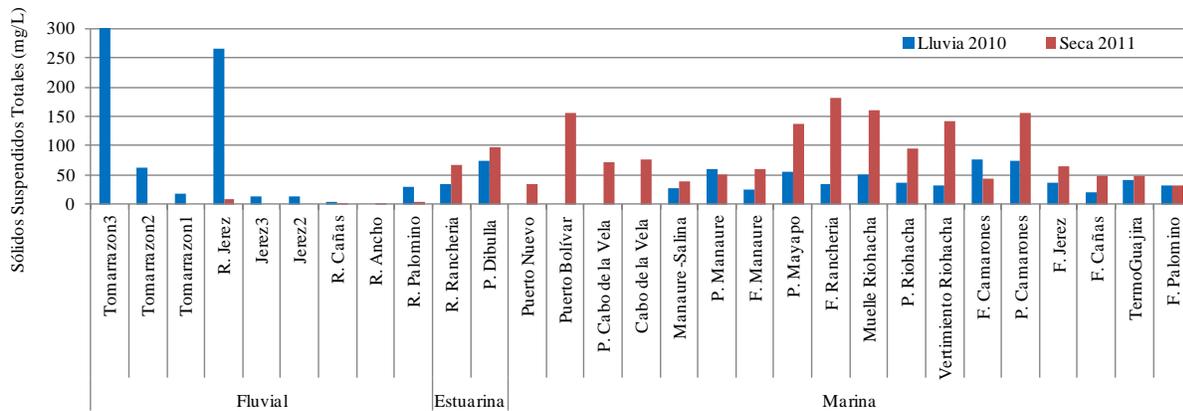


Figura 4.3-3. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) en aguas superficiales de las estaciones del departamento de La Guajira en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

El muestreo del 2010-2011 incluye los primeros análisis de turbiedad del departamento de La Guajira. Los resultados de turbiedad mostraron tendencias parecidas a las de SST, con niveles más altos en las aguas estuarinas y marinas durante la época seca y alta variación espacial en los ríos y aguas marinas (Figura 4.3-4). Las estaciones de ríos se dividen en dos grupos, el primero con valores de turbidez entre 1-5 NTU y el segundo con valores entre 23-33 NTU, más un valor extremo de 614 NTU en la estación de Tomarrazon 3. La turbiedad fue alta en las estaciones marinas de las áreas de Riohacha y Camarones, reflejando la relación con las zonas antropogénicas. A pesar de que la mayoría de los resultados de los análisis de turbiedad coincidieron con las tendencias encontradas en los datos de SST, algunos resultados presentaron un comportamiento opuesto, tal es el caso de Playa Mayapo y Rio Ranchería. Lo anterior demuestra que ambos parámetros pueden reflejar características ambientales independientes en un ecosistema.

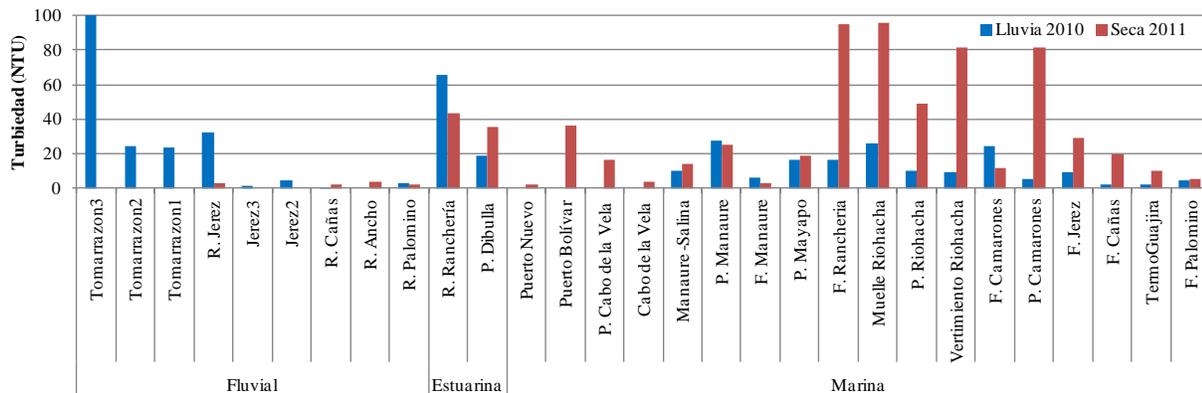


Figura 4.3-4. Valores de turbiedad en aguas superficiales de las estaciones del departamento de La Guajira en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) en términos de nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) y amonio (NH_4) se presentan en la Figura 4.3-5. No se encontró variación temporal significativa entre las dos épocas de muestreo ($p > 0.05$), pero si variación en los tipos de agua. Los niveles de NID en los ríos y aguas estuarinas fueron más altos que en las aguas marinas, especialmente en las estaciones de Tomarrazon 2 y Río Jerez, mostrando el aporte de nutrientes llevado al mar por la escorrentía de aguas superficiales de las cuencas. Las altas proporciones de NH_4 encontradas en las estaciones de Río Cañas, Río Palomino, Río Ranchería y Frente Camarones muestran que la fuente de afectación podría ser de tipo orgánico. Por otro lado, se evidencia el impacto de los centros poblados sobre la calidad de agua marino-costera, ya que se encontraron niveles elevados de NID en las playas Riohacha y Camarones, donde descargas de aguas residuales domesticas y la influencia de los ríos aportan fuentes de nitrógeno a estos cuerpos receptores. Históricamente, las estaciones marinas con las más altas concentraciones promedio de NID son las estaciones de Playa Riohacha ($89,5 \pm 109,7 \mu\text{g/L}$), Vertimiento Riohacha ($87,7 \pm 163,1 \mu\text{g/L}$), Frente Ranchería ($82,0 \pm 190,2 \mu\text{g/L}$) y Frente Palomino ($91,8 \pm 154,5 \mu\text{g/L}$); el resto de estaciones marinas tienen promedios históricos menores a $50 \mu\text{g/L}$ (INVEMAR, 2011).

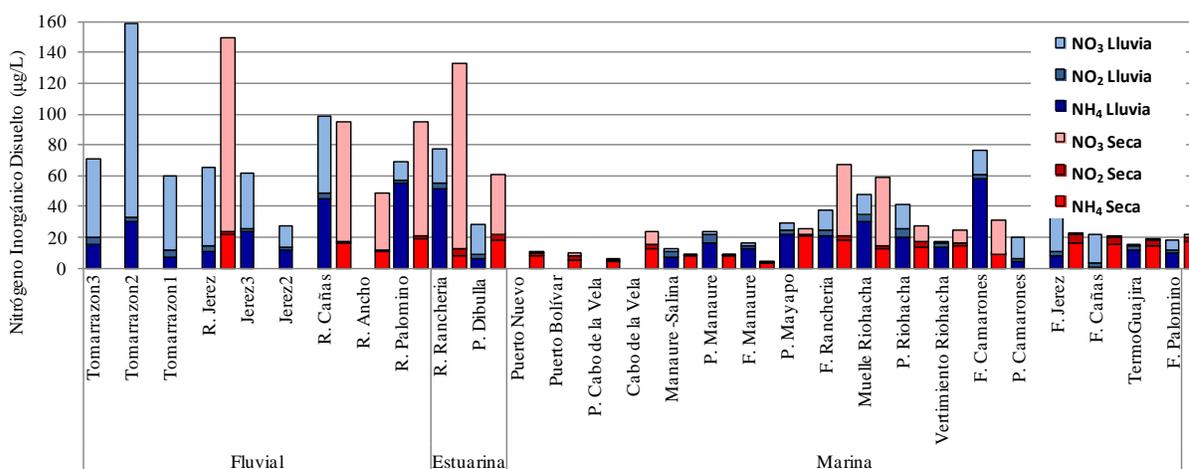


Figura 4.3-5. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto ($\mu\text{g/L}$) en las formas de amonio (NH_4), nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3) en aguas superficiales de las estaciones del departamento de La Guajira en la época lluviosa 2010 y seca 2011.

Por otro lado, el Fósforo Reactivo Soluble (FRS) en las aguas marinas se encontró en concentraciones más altas en la época lluviosa que en la época seca ($p < 0.05$), posiblemente debido a la influencia de las lluvias en el transporte de fósforo de la tierra hasta el mar (.). Los ríos Tomarrazon, Palomino y Ranchería tuvieron concentraciones de FRS particularmente altas, y aunque el FRS fue generalmente más alto en los ríos que las aguas marinas, se encontró algunas concentraciones elevadas en las estaciones marinas de playa Riohacha y Camarones. Como se mencionó anteriormente, éstas playas reciben la influencia de los ríos Ranchería y Tomarrazon. Es importante notar que aun cuando los niveles de FRS en el Río Ranchería estuvieron dentro del rango histórico, con un promedio de $108,6 \pm 61,1 \mu\text{g/L}$, los niveles en las aguas marinas de Riohacha ($70,7 \mu\text{g/L}$) y Camarones ($129,55 \mu\text{g/L}$) fueron superiores a los registros históricos de la REDCAM (INVEMAR, 2011).

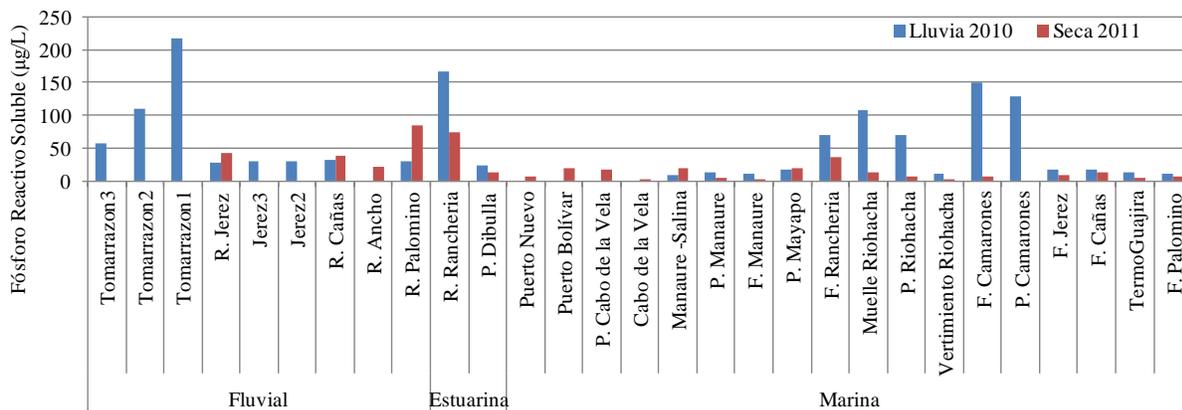


Figura 4.3-6. Concentraciones de fósforo reactivo soluble ($\mu\text{g/L}$) medidos en aguas superficiales de Magdalena en la época lluviosa 2010 y seca 2011.

4.3.2 Contaminación Microbiológica

Durante este periodo, las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal no presentaron diferencias entre épocas, sin embargo si se observaron variaciones entre tipos de agua ($p < 0,05$). Las aguas estuarinas y fluviales (ríos) presentaron condiciones similares, superando en promedio más de cinco veces las concentraciones de coliformes totales y termotolerantes registradas en aguas marinas. Este hecho está asociado a que los ríos constituyen un agente receptor de desechos líquidos y sólidos, donde se concentra una alta densidad de bacterias que son transportadas desde la zona continental a la zona marina (Abraham, 2011).

Con base en lo anterior y teniendo en cuenta que los ríos son empleados como soporte para el desarrollo de múltiples actividades de carácter agrícola, pesquero y doméstico, resulta necesario mantener óptimas condiciones de calidad que garanticen el desarrollo seguro de estas actividades y la salud de las personas que se favorecen de este recurso. En este sentido durante y de acuerdo con la normativa nacional, en el presente periodo sólo el río Jerez presentó condiciones óptimas de calidad para el desarrollo de actividades como la pesca y el riego de cultivos (Figura 4.3-7), lo cual está acorde con el promedio histórico de los ríos del departamento, donde se evidencia la recurrencia de condiciones insuficientes de calidad específicamente durante la época de lluvias. En esta temporada suele generarse un arrastre de microorganismos a los cuerpos de agua por efecto de las escorrentías, así como una resuspensión de microorganismos que están retenidos en los sedimentos por efecto de las turbulencias generadas en eventos de lluvias (Brownell *et al.*, 2007; Noble *et al.*, 2003).

Al igual que los ríos, las playas también tienen múltiples usos y beneficios económicos y sociales para las poblaciones, además que constituyen la base para la recreación de personas locales y extranjeras. Las aguas destinadas a recreación deben cumplir con criterios de calidad que garanticen la salud de los bañistas y el disfrute seguro de estos cuerpos de agua. En el departamento, durante el presente periodo de estudio se observó que de acuerdo con la concentración de enterococos y coliformes termotolerantes (fecales) las playas Mayapo, Manauare, Camarones y Dibulla presentaron condiciones insuficientes en ambas temporadas, en tanto que en la Playa Riohacha sólo se presentaron condiciones inadecuadas de calidad en el muestreo correspondiente a la época seca del 2011 (Tabla 4.3-1). El deterioro en la calidad de estos balnearios puede estar asociado a la influencia de las poblaciones circundantes, a los ríos y otros cursos de agua que desembocan en cercanía de las zonas recreacionales, así como al vertimiento de aguas residuales a la zona (Herrera y Suarez 2005;OMS, 2003).

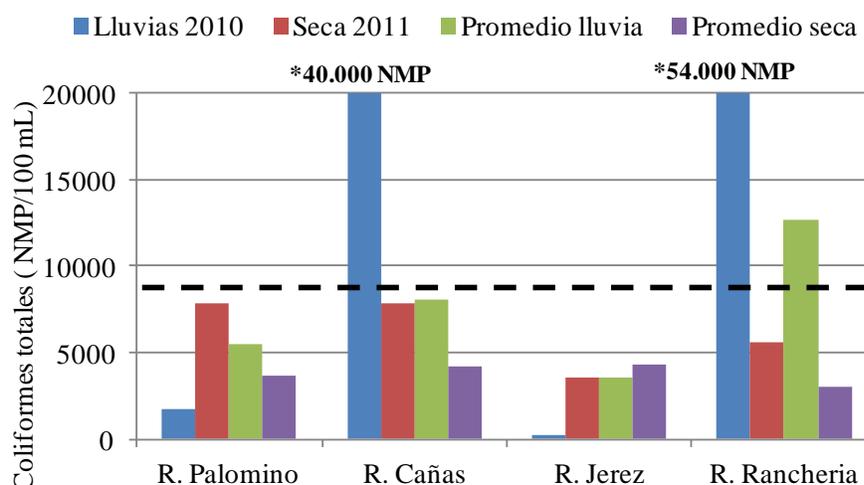


Figura 4.3-7. Concentración de coliformes totales en aguas superficiales de los ríos del departamento de la Guajira durante la época de lluvias del 2010 y seca del 2011 en comparación con el promedio histórico (época seca de 2001- época seca del 2010). La línea punteada indica el límite permisible de coliformes totales para actividades de contacto secundario (< 5.000 NMP/ 100 mL; Minsalud, 1984).

Tabla 4.3-1. Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en aguas superficiales de las playas de La Guajira durante la época lluviosa del 2010 y seca del 2011. Los valores en negrilla son aquellos que sobrepasan los límites de referencia establecidos por la legislación nacional para Coliformes termotolerantes (< 200 NMP/ 100 mL; Minsalud, 1984) y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud para Enterococos (< 40 UFC/ 100 mL; OMS, 2003).

| Playa | Enterococos (UFC/100 mL) | | C. Termotolerantes (NMP/100 mL) | |
|--------------------|---------------------------|------------|---------------------------------|-------------|
| | Lluvias 2010 | Seca 2011 | Lluvias 2010 | Seca 2011 |
| P. Cabo de la Vela | --- | 16 | --- | 23 |
| Cabo de la vela | --- | 34 | --- | 2 |
| P. Mayapo | 25 | <1 | 400 | 7,8 |
| P. Manaure | 29 | 343 | 700 | 22 |
| P. Riohacha | 8 | 1 | 170 | 2400 |
| P. Camarones | 78 | 6 | 606 | 14 |
| P. Dibulla | 280 | 287 | 700 | 39 |

4.3.3 Hidrocarburos

En la época de lluvias de 2010 los valores más altos de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos - HDD se registraron en las estaciones ubicadas frente a los ríos Palomino (4,04 µg/L) , río Jerez 2 (2,96 µg/L), y río Ranchería (2,08 µg/L), mientras que en la época seca del 2011, la cual fue atípica debido al fenómeno de La Niña, donde se presentaron incrementos en las precipitaciones entre 10 – 40% con respecto al promedio histórico de la época (IDEAM, 2011), los valores más altos se registraron en las estaciones ubicadas en el río Cañas (8,95 µg/L), Frente a Camarones (2,80 µg/L) y Puerto Nuevo (2,57 µg/L) (Figura 4.3-8) . La presencia de HDD en esta zona se debe posiblemente a la actividad portuaria ejercida en los muelles de Riohacha, Manaure y Puerto Nuevo, al transporte marítimo, el turismo y las aguas servidas de los diferentes municipios costeros del departamento. No obstante no superan el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la UNESCO (1984) para aguas no contaminadas para la preservación de flora y fauna.

En el análisis de HDD desde que inició el monitoreo en 2001 hasta la actualidad, las estaciones de río Jerez, Muelle Manaure, frente al río Palomino, Tomarrazón 1 y frente al río Cañas son los sitios que realizan los mayores aportes de este contaminante a la zona costera del departamento, mostrando en la época seca un ligero aumento de las concentraciones (Figura 4.3-8). Históricamente las mayores concentraciones de HDD se registraron en la época seca de 2001 en las estaciones frente a los ríos Jerez (3,56 µg/L), Cañas 7,32 µg/L y Palomino 8,80 µg/L y en la época de lluvias de 2003 en el Cabo de la Vela 8,63 µg/L y Punta Cabo de la Vela 4,90 µg/L. No obstante, las concentraciones de HDD detectadas en aguas superficiales no superan el valor de referencia para aguas no contaminadas (UNESCO, 1984).

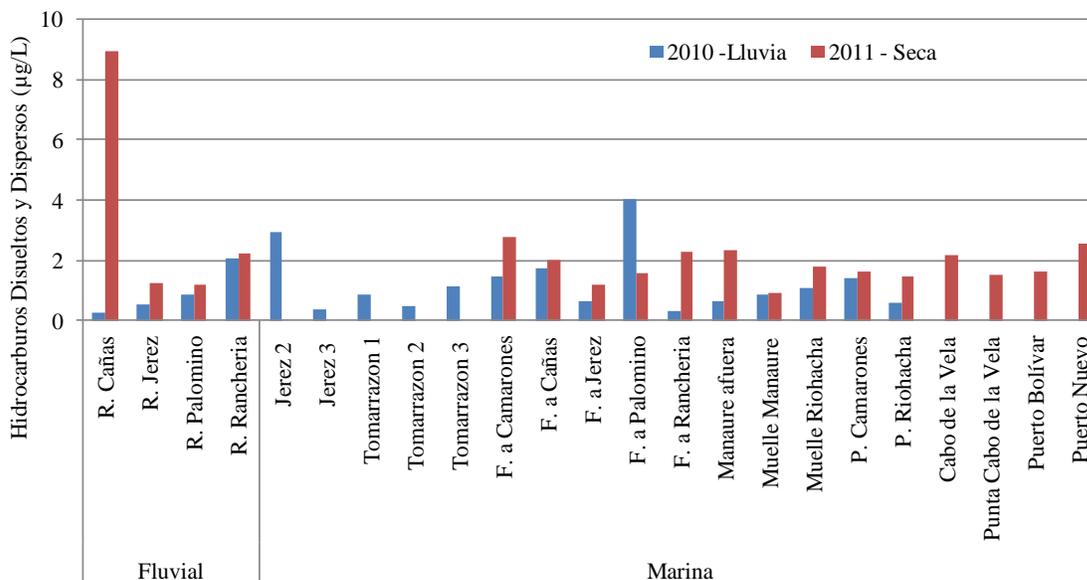


Figura 4.3-8. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) medidas en aguas superficiales de la Guajira, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

4.3.4 Metales Pesados

El impacto de la contaminación por metales pesados en la zona marino costera del departamento de la Guajira ha sido poco estudiada, no existen a la fecha reportes históricos de fuentes importantes de vertimiento de estos elementos a las aguas costeras en la región, debido a la poca actividad industrial y minera desarrollada en el departamento que pudiera dar lugar a la contaminación por este tipo de elementos. Se prevé que la problemática ambiental que se pueda presentar puede estar relacionada a las tensiones originadas por otras actividades de carácter antropogénico, como ha sido la disposición de basuras a cielo abierto y disposición de aguas servidas, que pueden constituirse en la principal fuente de estos elementos en la región.

Durante el monitoreo REDCAM se han analizado los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) en las aguas superficiales marino costeras del departamento de la Guajira. En el periodo comprendido entre la época de lluvias de 2010 y la época seca de 2011, estuvieron muy por debajo de los niveles de riesgo para efectos agudos en aguas marinas referenciados en guías internacionales para este tipo de aguas (Pb 210 µg/L, Cd 40 µg/L y Cr 50 µg/L, Buchman, 2008; Conama, 1986). En general el Pb fue el elemento que ha presentado las mayores concentraciones ($6,99 \pm 5,67$ y $1,80 \pm 2,41$ µg/L en la época de lluvias y seca, respectivamente) de los elementos analizados. Las mayores concentraciones se registraron en las estaciones Vertimiento Riohacha (19,62 µg/L) y río Jerez (16,10 µg/L) durante la época de lluvias de 2010 y en las estaciones Manaure salina (8,93 µg/L) y playa Riohacha (5,18 µg/L) en la época seca de 2011. En

general se evidenció una disminución de la concentración de Pb en todas las estaciones en la época seca de 2011 con relación a la época de lluvias de 2010 (Figura 4.3-9), lo que puede ser atribuido al mayor aporte continental debido a las precipitaciones que se presentaron durante la época de lluvias de 2010 debido al fenómeno de “La Niña”.

En el periodo de la época de lluvias de 2010 y época seca de 2011 la concentración de Cd en todas las estaciones estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada. En cuanto al Cr se registraron los mayores valores (Figura 4.3-10) en las estaciones vertimiento Riohacha (2,84 µg/L) y río Palomino (2,24 µg/L) en la época de lluvias de 2010, mientras en la época de seca de 2011 las mayores concentraciones se registraron en las estaciones Frente a Camarones (4,83 µg/L) y Termoguajira (4,83 µg/L).

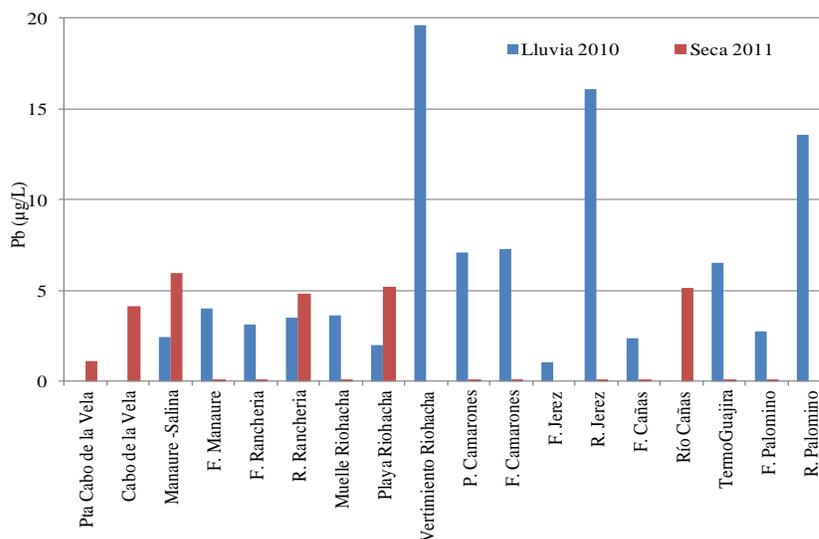


Figura 4.3-9 Concentraciones de plomo (Pb, µg/L) medidas en aguas superficiales del departamento de la Guajira, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

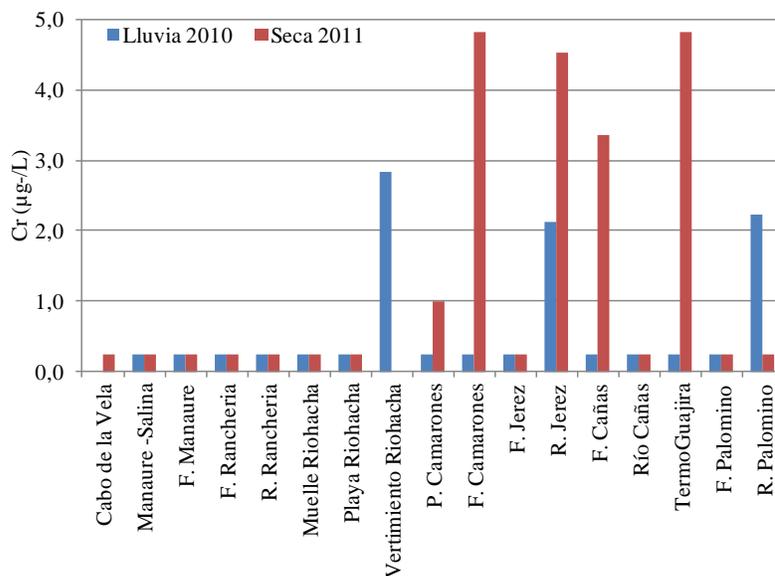


Figura 4.3-10 Concentraciones de cromo (Cr, µg/L) medidas en aguas superficiales del departamento de la Guajira, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

Durante el monitoreo REDCAM en el departamento de la Guajira se han analizado estos elementos desde la época seca de 2001. En general las mayores concentraciones de Pb y Cd se registraron en el año 2001 y en la época seca de 2002. El plomo ha mostrado una clara tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo, encontrando las mayores concentraciones promedio ($40,5 \pm 5,35$ y $44,3 \pm 6,93$ $\mu\text{g/L}$ en la época de lluvias de 2001 y la época seca de 2002 (Figura 4.3-11 a), sin registrar valores que rebasen el nivel de riesgo para este elemento (210 $\mu\text{g/L}$, [Buchman, 2008](#)). Por otra parte las mayores concentraciones promedio de Cd se registraron en la época seca y lluviosa de 2001 ($2,06 \pm 0,57$ y $2,02 \pm 0,08$ $\mu\text{g/L}$ respectivamente), y posteriormente se ha evidenciado una tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo, con excepción del año 2009 donde se evidenció un leve incremento en las concentraciones (Figura 4.3-11b), sin embargo los valores no rebasan al reportado por guías internacionales para efectos agudos en aguas marinas superficiales (40 $\mu\text{g/L}$, [Buchman, 2008](#)).

Caso contrario, se evidencio en las concentraciones históricas de Cr, las cuales han incrementado a lo largo del monitoreo. Las mayores concentraciones se registraron en la época de lluvias de 2009 en las estaciones frente río Jerez y río Jerez ($13,40$ y $12,44$ $\mu\text{g/L}$, respectivamente), no obstante estas concentraciones están muy por debajo de los valores de riesgo referenciado en la normatividad internacional (50 $\mu\text{g/L}$, [Conama, 1986](#)).

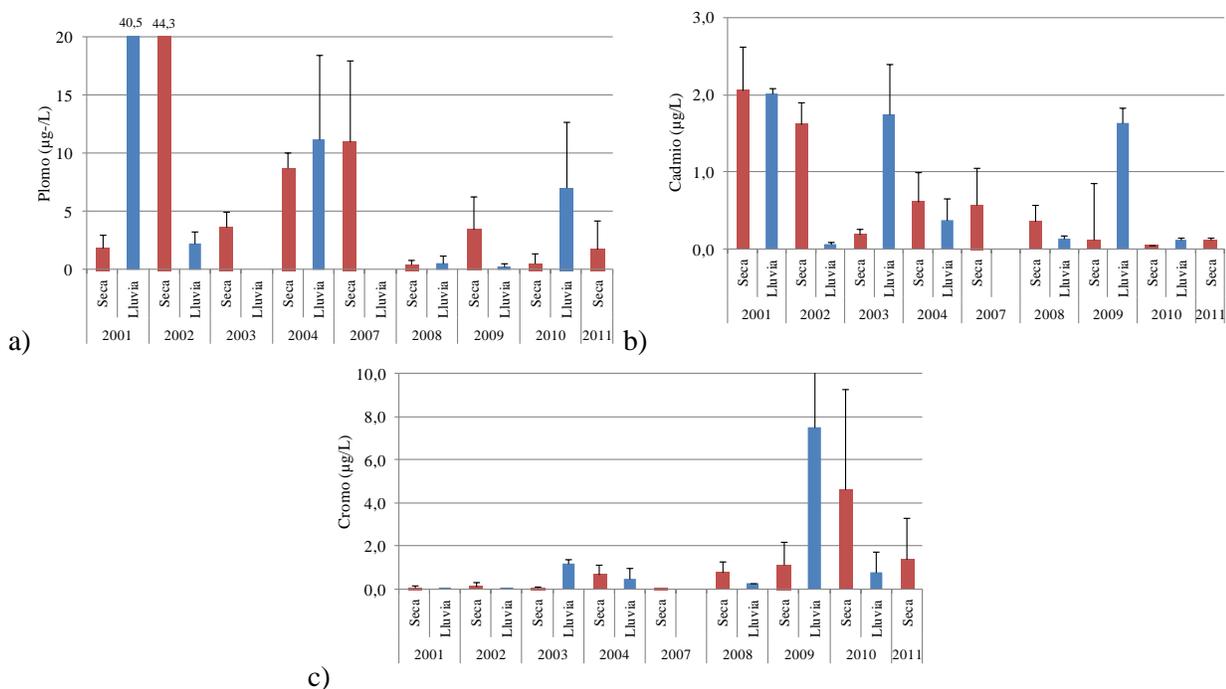


Figura 4.3-11. Comportamiento histórico de la concentración promedio de a) Plomo , b) Cadmio y c) Cromo medidas en aguas superficiales del departamento de la Guajira, en las épocas climáticas lluvias y seca.

Se han identificado como las principales fuentes de contaminación en este departamento las basuras, los vertimientos de aguas residuales (domésticos o industriales), la actividad marítima y portuaria y los residuos de agroquímicos. Las vías de entrada de los contaminantes son los vertimientos directos y los ríos, siendo el principal el Ranchería, seguido por los ríos Cañas, Jerez y Palomino ([Garay et al., 2004](#)), los cuales pueden incidir en la calidad de las aguas costeras del departamento de la Guajira y concretamente en la concentración de metales.

4.3.5 Conclusiones

Las aguas costeras del departamento de la Guajira presentaron buenas condiciones desde el punto de vista fisicoquímico, con valores de oxígeno disuelto por encima de los límites mínimos permisibles y, variaciones temporales relacionadas con procesos de intercambio con la atmosfera, dinámica de las masas de aguas y fotosíntesis a nivel superficial. El pH varió de acuerdo al tipo de agua siendo más amplio en aguas estuarinas como consecuencia de los procesos de mezcla, no obstante, se enmarcaron dentro del rango histórico de la región. La salinidad presentó variaciones temporales, con tendencia a aumentar en la época seca lo cual se atribuyo a la influencia del fenómeno climático el Niño y los fenómenos de surgencia que ocurren durante esta temporada en las aguas costeras de esta región del Caribe.

Los resultados de sedimentos y nutrientes en este periodo mostraron variación espacial y temporal que dependió de las tendencias ambientales y las condiciones específicas del periodo de muestreo. El incremento del Fósforo Reactivo Soluble en las aguas marinas durante la época lluviosa puso en evidencia la influencia de las precipitaciones en el transporte de nutrientes al mar, mientras que el aumento de Sólidos Suspendidos Totales y turbidez en aguas marinas durante la época seca mostraron el efecto potencial de las condiciones oceanográficas sobre la calidad de agua como la surgencia que se presenta en la época seca. Se observaron concentraciones elevadas de sedimentos y nutrientes en los ríos Jerez y Tomarrazon, así como el impacto de los centros poblados de Riohacha y Camarones sobre la calidad de las aguas marinas adyacentes, en donde se encontraron niveles elevados de los sólidos y nutrientes, probablemente relacionados con las descargas de los ríos y las aguas residuales domesticas.

Durante el presente periodo se observó que de acuerdo a las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal, sólo el río Jerez presento condiciones de calidad óptimas para el desarrollo de actividades de contacto secundario; en tanto que las playas Mayapo, Manaure, Camarones y Dibulla tuvieron condiciones insuficientes de calidad para la realización de actividades de contacto primario, como el baño y natación y para contacto secundario como la pesca y los deportes náuticos.

Las concentraciones de HDD en las aguas desde el 2001 son inferiores al valor de referencia (<10 µg/L) y no reflejan los impactos de estos contaminantes sobre el ambiente debido al carácter hidrofóbico de estos compuestos; aunque en 2011 el río Cañas muestra una concentración de 8,95 µg/L, por lo cual es necesario realizar un seguimiento a este tributario.

En el análisis de metales pesados en aguas superficiales costeras del departamento de la Guajira, se evidencia una disminución de la concentración de Cadmio y Plomo a lo largo del monitoreo a concentraciones inferiores a los valores referenciados en guías internacionales como de riesgo; mientras la concentración de Cromo ha mostrado un leve incremento a lo largo del monitoreo, no obstante estos valores no superan los referenciados como de riesgo en guías internacionales. Se recomienda el seguimiento de este elemento ya que las mayores concentraciones se registraron en estaciones ubicadas en los ríos Jerez y Tomarrazón.

Magdalena



Bahía de Santa Marta

4.4 MAGDALENA

El Departamento del Magdalena está situado en el norte del país, en la región de la llanura del Caribe, entre los 08°56' y 11°18' de latitud norte y a los 73°32' y 74°55' de longitud oeste. En el departamento del Magdalena, la red de monitoreo cuenta con 41 estaciones, que se extienden desde el río Palomino hasta el río Magdalena (Figura 4.4–1), incluyendo 4 municipios costeros (Santa Marta, Ciénaga, Pueblo Viejo y Sitio Nuevo) y 4 parques nacionales naturales (Tayrona, Vía Parque Isla Salamanca, Santuario de Fauna y Flora Ciénaga Grande de Santa Marta y la Sierra Nevada de Santa Marta). Las actividades económicas más importantes en el departamento son: el turismo, siendo Santa Marta el segundo destino preferido en el Caribe colombiano; la actividad portuaria, el puerto de Santa Marta es considerado el cuarto más grande del país, del cual los principales productos de exportación son el carbón, el banano y el café.

La zona costera del departamento del Magdalena está afectada por las descargas de agroquímicos provenientes de las zonas agrícolas en las cuencas del río Magdalena y de los ríos que drenan la Sierra Nevada de Santa Marta; las descargas de aguas residuales a través del emisario submarino de la ciudad de Santa Marta, del río Manzanares; y los vertimientos temporales de aguas de escorrentía (Calle 10 y 22). El 27,5% de la población de Santa Marta más las poblaciones de Taganga y el Rodadero Sur, no están conectados al sistema de alcantarillado (DANE, 2011). A pesar de las limitaciones del alcantarillado en cobertura y tratamiento de las aguas domésticas que producen el deterioro de la calidad del agua cerca de los centros poblados, en otras partes del departamento como por ejemplo las áreas naturales protegidas, se encuentra una muy buena calidad ambiental.

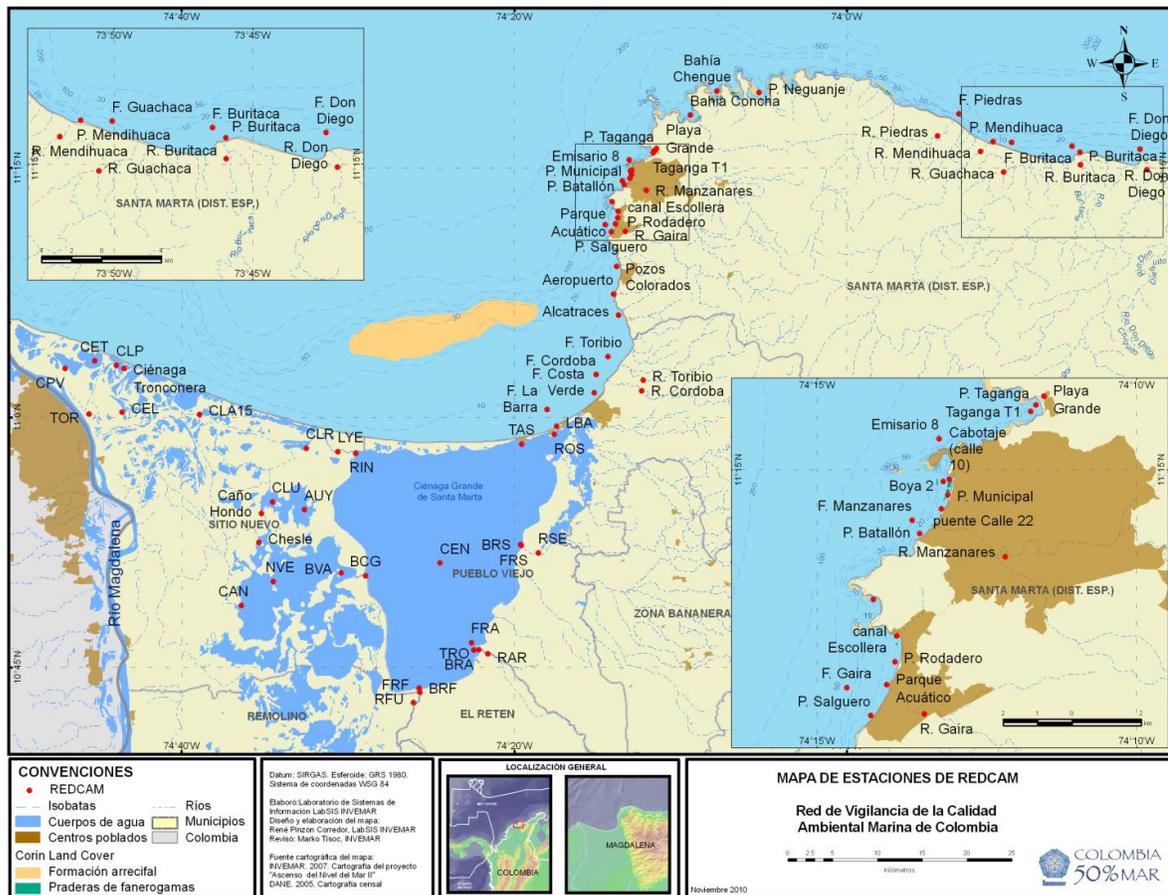


Figura 4.4–1. Estaciones de muestreo en el departamento de Magdalena

4.4.1 Variables Fisicoquímicas

4.4.1.1 *In situ*

Las variables de las aguas costeras del departamento del Magdalena, muestran diferencias entre las épocas lluviosa (2010) y seca (2011) y entre los tipos de aguas, dulces, estuarinas y marinas. La concentración de oxígeno disuelto (OD) en aguas dulces (ríos) y estuarinas, en las dos épocas climáticas estuvo por encima de los 4,0 mg/L, valor mínimo permisible exigido por la norma colombiana para los propósitos de preservación de vida acuática (Decreto 1594 de 1984, Art. 45; Minsalud, 1984). Contrariamente en aguas marinas durante la época lluviosa de 2010, en todas las estaciones excepto la playa Mendihuaca, las concentraciones de OD estuvieron por debajo del mínimo límite permisible de la norma colombiana, en el rango de 2,1 a 3,9 mg/L (Figura 4.4–2). Las bajas concentraciones de oxígeno están relacionadas con las altas temperaturas del agua superficial en esta época (entre 28,4 y 32,2 °C), que afectan la solubilidad de oxígeno; y el aumento de los aportes de materia orgánica transportada al mar por la escorrentía, producto de la alta precipitación de la época. El comportamiento del OD de las aguas marinas de la época lluviosa 2010 fue irregular en comparación con los datos históricos que en épocas lluviosas anteriores produjeron promedios entre 5,7 y 7,6 mg/L, con la excepción de la época lluviosa del 1999 cuando el valor promedio fue 3,5 mg/L (INVEMAR, 2011).

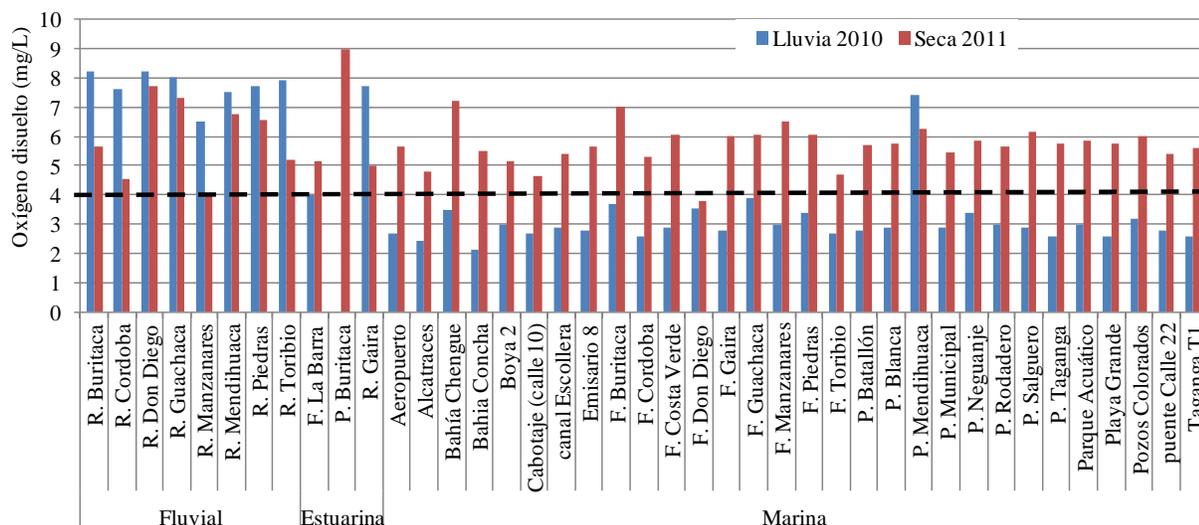


Figura 4.4–2. Comportamiento del oxígeno disuelto (mg/L) en aguas superficiales del Magdalena, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011. La línea punteada representa el límite permisible para preservación de flora y fauna (Minsalud, 1984).

El valor pH fluctuó entre 6,82 y 8,50 en aguas dulces y entre 7,88 y 8,32 en aguas estuarinas. Entre la época lluviosa de 2010 y la época seca de 2011, se observó un aumento promedio del valor pH tanto para aguas estuarinas como dulces, de $0,35 \pm 0,43$ y $1,44 \pm 0,30$ unidades de pH, respectivamente. Cabe destacar los bajos valores de pH en las estaciones de aguas estuarinas durante la época lluviosa, principalmente en los ríos Guachaca (6,82) y Mendihuaca (6,88), debidos a los aportes de aguas lluvias, constituyéndose a su vez en los más bajos valores durante esta época de muestreo. En aguas marinas el pH no presentó mayores variaciones debido a la capacidad buffer del agua de mar. Los rangos de valores pH en aguas marinas estuvieron entre 7,88 y 8,37 en la época lluviosa y entre 7,99 y 8,23 en la época seca. En general, los valores de pH registrados durante las dos épocas, se enmarcaron dentro del rango permisible de 5,0 a 9,0 establecido en la legislación colombiana para propósitos de preservación de fauna y flora (Decreto 1594 de 1.984, Art. 45; Minsalud, 1984). Así mismo estos valores se encontraron dentro del rango de variación histórico del departamento (6,93 a 8,42).

La salinidad es la variable que históricamente ha reflejado los cambios hidrológicos durante las épocas de muestreo (Figura 4.4–3). En el periodo evaluado, la salinidad en aguas dulces se mantuvo por debajo de 0,2. En aguas marinas, la salinidad aumentó durante la época seca 2011, principalmente en algunas de las estaciones ubicadas frente a los ríos Buritaca (de 28,6 a 36,8), Manzanares (de 23,6 a 36,6) y Piedras (de 26,6 a 37,5); en la bahía de Santa Marta, en las estaciones Boya 2 (de 27,3 a 37,7) y Puente Calle 22 (de 28,1 a 37,6); y en la Playa Neguanje (de 28,1 a 38,0). Es de resaltar, que en la zona de Pozos Colorados, en la época seca se presenta un evento de surgencia local moderado, debido a la escasez de aguas lluvias, la morfología de la costa, y la orientación, intensidad y constancia de los vientos alisios que entre otros producen aumentos de la salinidad, debido al ascenso de aguas subsuperficiales que en general tienen mayor salinidad (Moscarella *et al.*, 2011). Al comparar con los datos históricos del monitoreo, se observan diferencias que están relacionadas con eventos climáticos de gran escala como los eventos El Niño y La Niña.

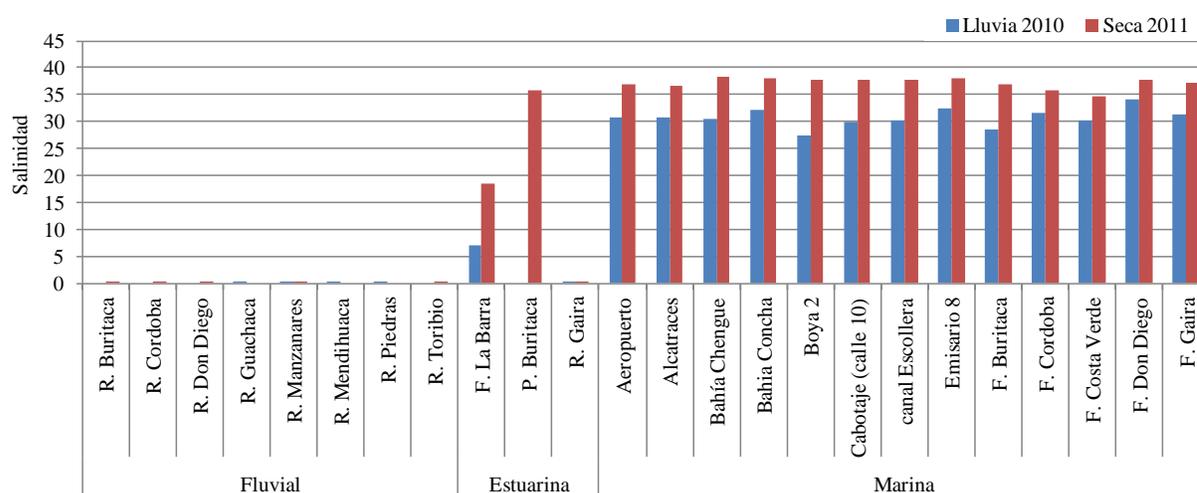


Figura 4.4–3. Comportamiento de la salinidad en aguas superficiales de la zona costera del departamento del Magdalena, durante la época lluviosa de 2010 y seca de 2011

La temperatura superficial de las aguas osciló entre 23,8 y 32,2 °C para la época lluviosa 2010 y entre 23,9 y 34,4 °C durante la época seca 2011. Aunque espacialmente no se observó una tendencia definida, en las aguas marinas de las estaciones Bahía Chengue (30,0 y 28,0), Playa Nenguanje (32,2 y 27,0) y Playa Bahía Concha (29,7 y 26,4) la temperatura durante la época seca fue más baja que durante la época lluviosa. Cabe resaltar que estas estaciones son áreas con corales, los cuales son sensibles a cambios de temperatura y pueden degradarse por el efecto de blanqueamiento en condiciones de temperaturas por encima de los 30°C (Vega-Sequeda *et al.*, 2011; Hoegh-Guldberg, 1999). El descenso de la temperatura se debe a la influencia de los vientos Alisios del noreste (NE), que históricamente se presenta en el Caribe colombiano en la época seca (diciembre a abril). Contrariamente la época lluviosa (mayo a noviembre) cuando los vientos alisios se encuentran débiles y la contracorriente del Darién al nivel superficial está más desarrollada, la temperatura superficial del mar es más alta (Bernal *et al.*, 2006).

4.4.1.2 Sólidos y Nutrientes

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) del agua superficial del departamento del Magdalena fueron significativamente más altos en la época de lluvias que la época seca ($p < 0,05$), un resultado esperado en consideración de las inundaciones de la época lluviosa 2010 causados por lluvias excesivas del fenómeno climático La Niña. Grandes eventos de lluvia inducen altos niveles de

escurrimiento que llevan sedimentos erosionados de las cuencas terrestres. Sin embargo, el promedio de concentración de los SST en los ríos ($22,8 \pm 19,5$ mg/L) no fue lo más alto del muestreo de la época lluviosa, sino las concentraciones promedio de las aguas estuarinas ($74,6 \pm 2,2$ mg/L) y marinas ($35,6 \pm 15,7$ mg/L). Esto se puede explicar porque el muestreo fue hecho unos días después de un evento grande de escurrimiento, cuando los caudales de los ríos bajaron, mientras que altas concentraciones de SST persisten en las aguas receptores. Aunque la época lluviosa de 2010 representó un evento marcado al respecto de inundaciones históricas en el país, las concentraciones de SST en esta época fueron normales en comparación con promedios semestrales que se vienen registrando desde 2002 (Figura 4.4–4).

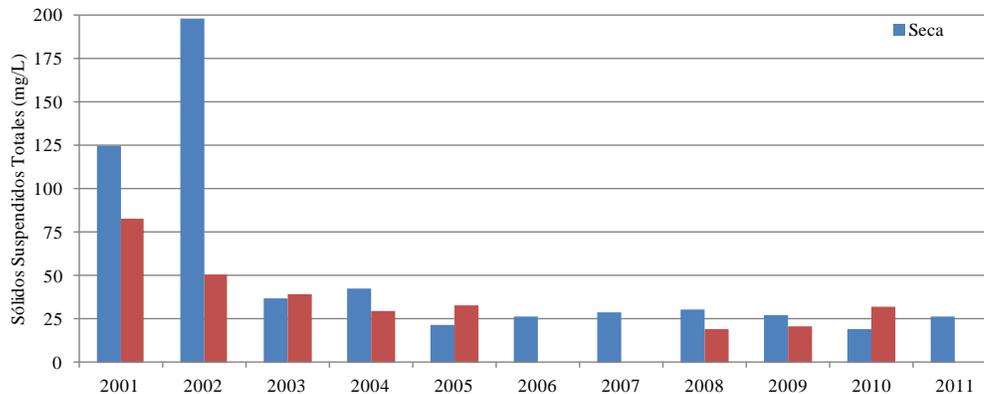


Figura 4.4–4. Concentraciones promedio de sólidos suspendidos totales (mg/L) en aguas superficiales de la zona costera del departamento del Magdalena en los años 2001 a 2011.

En cuanto a los ecosistemas coralinos del Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT), las concentraciones de SST en estaciones cerca de los arrecifes de Bahía Concha, 16,4-21,0 mg/L; Bahía Chengue, 19,1-34,2 mg/L; y playa Nenguanje, 16,4-18,2 mg/L estuvieron por debajo del valor de referencia sobre impactos a la fisiología de corales (50 mg/L; Fabricius 2005). En estas estaciones, los SST históricamente han estado por debajo de este valor de referencia, salvo en las bahías Chengue y Concha en la época seca de 2004 y en Chengue en la época lluviosa de 2002.

El muestreo de 2010-2011 incluye los primeros análisis de turbiedad de la REDCAM en el departamento del Magdalena. A pesar de las variaciones de SST entre épocas y tipos de aguas, estas no se reflejan en los valores de turbiedad, salvo que las aguas estuarinas mostraron valores promedio ($18,8 \pm 8,9$ NTU) más altos que en los ríos y aguas marinas ($3,9 \pm 4,8$ NTU). Los valores más altos de turbiedad se observaron en los ríos Piedras (10,5-18,1 NTU), Manzanares (13,7-22,2 NTU) y Gaira (16,1-24,1 NTU), y en sus aguas receptores. La presencia de aguas turbidas reduce el paso de luz al fondo que tendría un efecto sobre los ecosistemas benthicos en sus capacidades de hacer fotosíntesis.

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), en términos de nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) y amonio (NH_4), mostraron variaciones temporales y espaciales (Figura 4.4–5). Aunque no fue una tendencia consistente de diferencias entre épocas climáticas, fueron unas diferencias marcadas como en los ríos de la zona noreste del departamento (Buritaca, Guachaca, Don Diego, Piedras) y Calle 10 que mostraron más NID en la época lluviosa, mientras que se encontró valores más altos en la época seca en el río Manzanares, la Boya 2 y las playas de Botallón y Blanca.

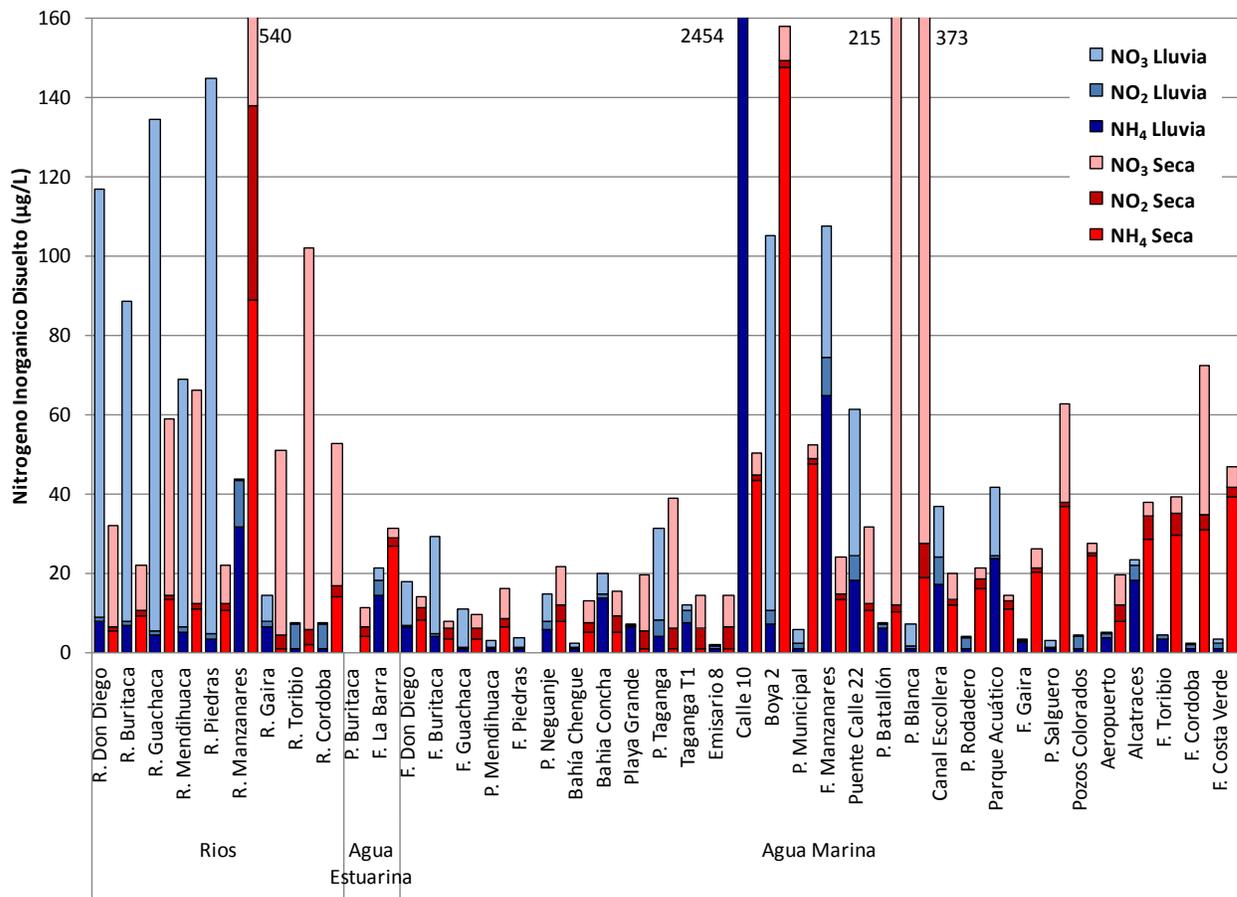


Figura 4.4–5. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (µg/L) en las formas de amonio (NH₄), nitrito (NO₂) y nitrato (NO₃) en aguas superficiales del departamento del Magdalena, en la época lluviosa 2010 y seca 2011.

En general, la mayor parte del nitrógeno aportado a la zona marina del departamento se produjo por los ríos, principalmente en la forma de nitrato, y por la estación de la Calle 10 que aporta una gran cantidad de amonio a la bahía de Santa Marta (2447,9 µg/L), debido al escurrimiento del alcantarillado que comúnmente se derrama en esta calle cerca el mar. Esta estación junto a la Boya 2 que está al frente, y la estación del río Manzanares, se caracterizan por los contenidos altos de amonio, debidos a los volúmenes de aguas residuales domésticas (ARD) que drenan las casas adyacentes. La relación entre nitrógeno y la población se nota a lo largo de la costa con las concentraciones más altas en las aguas marinas frente los 4 municipios del departamento. Históricamente, las estaciones de la Calle 10 y el río Manzanares han tenido altas concentraciones promedio de NID ($387,4 \pm 591,5$ y $195,0 \pm 561,5$ µg/L, respectivamente) mientras que las playas Batallón y Blanca típicamente han mostrados concentraciones promedio de NID muy por debajo de las del año actual ($35,5 \pm 591,5$ y $32,9 \pm 561,5$ µg/L, respectivamente).

En las bahías Chengue, Concha y Nenguanje, la concentración de NID es particularmente importante para la conservación de sus ecosistemas coralinos. En las bahías de Concha y Nenguanje, las concentraciones de NID fueron más altas del valor de referencia (14,0 µg/L) reportado para florecimiento permanente de macroalgas frondosas en arrecifes del Caribe (Lapointe 1997) e impactos potenciales a la fisiología de corales (Fabricius 2005). La presencia de altas concentraciones de NID no ha sido continuo históricamente, sin embargo, el impacto de NID sobre estos ecosistemas es un tema de preocupación en consideración que la mitad de los datos históricos son superiores al valor de referencia (Figura 4.4–6).

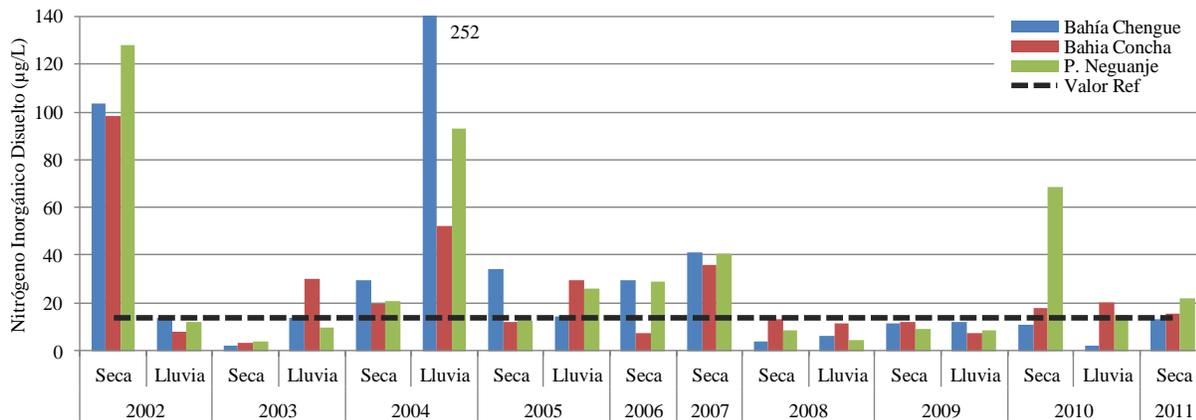


Figura 4.4-6. Concentraciones históricas de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) en µg/L en aguas superficiales de las estaciones coralinas del departamento del Magdalena, en las épocas secas y lluviosas. La línea punteada representa el valor de referencia de 14 µg/L Lapointe, 1997.

Las concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS) en las aguas superficiales de la zona costera del departamento del Magdalena fueron significativamente más altas en la época de lluvias que la época seca ($p < 0,05$). Este resultado se explica por las propiedades adhesivas del fósforo y el sedimento, y el excesivo escurrimiento de sedimentos erosionados aportados por el aumento de volumen de agua durante la época lluviosa 2010 debido al fenómeno climático La Niña (Figura 4.4-7).

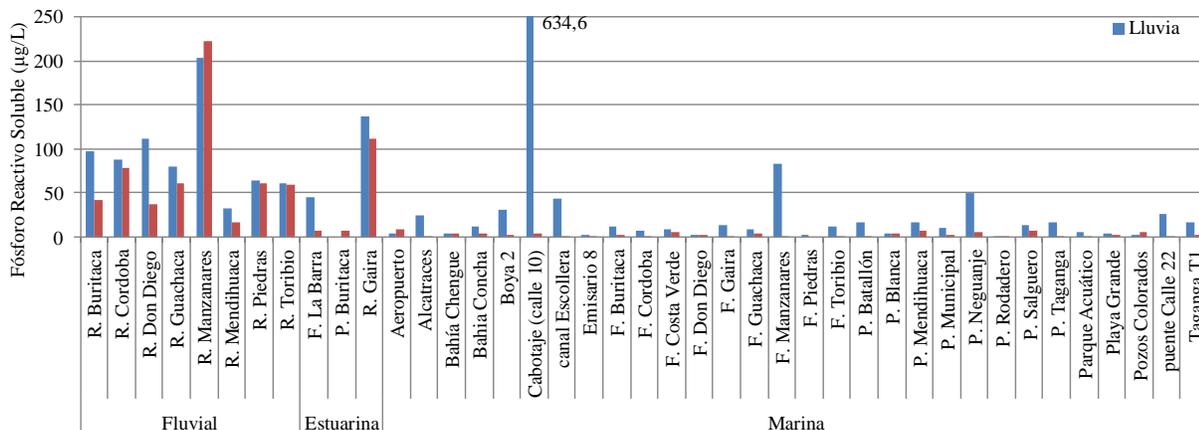


Figura 4.4-7. Concentraciones de fósforo reactivo soluble (µg/L) medido en aguas superficiales del Magdalena en la época lluviosa 2010 y seca 2011.

Espacialmente, las concentraciones más altas de FRS se presentaron en las estaciones de los ríos Manzanares y Gaira y en la estación calle 10, las cuales drenan efluentes de ARD en sus poblaciones adyacentes aportando fósforo al agua superficial. El mismo impacto es evidente en las aguas marinas, con los valores más altos en las estaciones de la ciudad de Santa Marta. En las áreas coralinas, hay un riesgo a los arrecifes debido a la concentración de fósforo en la playa Neganje (49,3 µg/L) que está cerca del valor de referencia sobre impactos a la fisiología de corales ($P-PO_4 = 62,0 \mu\text{g/L}$; Fabricius, 2005) y superior al valor reportado para estados de florecimiento permanente de macroalgas frondosas en arrecifes del Caribe ($P-PO_4 > 3,1 \mu\text{g/L}$; Lapointe, 1997), igual como concentraciones en las bahías Concha (12,2 µg/L) y Chengue (4,6 µg/L). Las concentraciones promedio de FRS históricas en estas tres bahías han

sido relativamente bajas, pero superiores al valor de referencia de 3,1 µg/L (Chengue 10,8 ± 11,8 µg/L; Concha 6,5 ± 8,0 µg/L; Nenguanje 4,6 ± 8,3 µg/L), mientras que en los ríos Manzanares (251,6 ± 281,7 µg/L), Gaira (114,7 ± 91,4 µg/L) y estación calle 10 (46,2 ± 38,4 µg/L), han persistido altas concentraciones promedios.

4.4.2 Contaminación Microbiológica

Las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidas en este periodo, muestran que independientemente del tipo de agua, no se presentaron diferencias entre épocas ($p > 0,05$). No obstante, las máximas concentraciones de coliformes totales y termotolerantes (350.000 NMP/ 100 mL), se registraron en la época seca del 2011 en la estación del Emisario submarino, punto de vertido del sistema de tratamiento de las aguas servidas de Santa Marta. Mientras que los enterococos registraron su máxima concentración (2000 UFC /100 mL) en la época lluviosa del 2010 en la estación Calle 10, caracterizada por recibir aguas pluviales de la ciudad a través de las escorrentías generadas tras eventos de lluvias, lo cual está estrechamente asociado con la presencia de este grupo indicador.

La calidad microbiológica del agua se determina en función del grupo indicador empleado y el fin previsto para el uso del recurso (Shibata *et al.*, 2004). En el caso del Magdalena, el departamento cuenta con un conjunto de cuerpos de agua destinados principalmente a las actividades de baño y recreación, por lo cual, a través de la REDCAM se viene monitoreando la calidad de 18 playas, de las cuales el 44 % (8 playas) presentó condiciones inadecuadas para el desarrollo de estas actividades, debido a la presencia de enterococos o coliformes termotolerantes (anteriormente denominados fecales), en concentraciones superiores a los valores de referencia establecidos nacional e internacionalmente (Tabla 4.4-1; MINSALUD, 1984; OMS, 2003). Las condiciones de riesgo sanitario detectadas se deben principalmente a los niveles de enterococos, que muestran un total de siete eventos clasificados en categoría B, lo cual se traduce en una probabilidad de adquisición de Enfermedades Gastrointestinales (EGI) entre el 1–5 % y de Enfermedades Respiratorias Febriles Agudas (ERFA) del 0,3 a 1,9 %. Tres eventos en categoría C, equivalente a una probabilidad del 5–10% de adquisición de EGI y de 1,9–3,9% de ERFA; y cuatro eventos en la categoría D, con probabilidades de adquisición de EGI y ERFA superiores al 10% y 3,9%, respectivamente (OMS, 2003).

La zona de mayor riesgo debido a la recurrencia de los eventos, las estaciones afectadas y las concentraciones de microorganismos de origen fecal es la bahía de Santa Marta (Tabla 4.4-1). En esta área desemboca el río Manzanares, el cual trae consigo los residuos de las poblaciones ribereñas y por lo tanto una mezcla de microorganismos desde la zona continental (Ramos - Ortega *et al.*, 2008). El aporte de este tributario, sumado a las escorrentías intermitentes de las calles 10 y 22, afectan la calidad microbiológica de estas zonas de recreación, especialmente durante la época de lluvias (Narváez *et al.*, 2010), donde aguas pluviales sin tratamiento llegan al mar a través de las escorrentías y los ríos deteriorando la calidad del agua (Dorfamn *et al.*, 2009). Históricamente en esta zona se han presentado de manera frecuente condiciones de riesgo sanitario, principalmente la estación Calle 10, donde el 77% de los seguimientos ha mostrado condiciones inadecuadas, seguido de Playa Batallón (55%) y Playa Municipal (44%). Cabe destacar, que los riesgos se incrementan en función del número de personas expuestas y el tiempo que pasan en las playas.

Al igual que el río Manzanares, otros tributarios del departamento llevan al mar concentraciones microbianas que pueden alterar las condiciones naturales de la zona costera. En los ríos evaluados en este periodo, se encontraron coliformes totales entre 1300 – 170.000 NMP/ 100 mL en la época lluviosa y entre 790 – 240.000 NMP/ 100 mL en la época seca. Hay que notar que estos ríos son empleados para la ejecución de múltiples actividades como el riego de cultivos, pesca y quehaceres domésticos que implican incluso, el contacto directo de los pobladores con el agua. Durante la temporada de lluvias del 2010 y seca

del 2011, con excepción de los ríos Piedras y Mendihuaca, la calidad microbiológica de los tributarios evaluados presentó condiciones insuficiente para estos usos (Figura 4.4–8).

Tabla 4.4-1. Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las playas de Magdalena durante la época lluviosa del 2010 y seca del 2011. Los valores en negrilla son aquellos que sobrepasaron los límites de referencia establecidos por la legislación nacional para Coliformes termotolerantes (< 200 NMP/ 100 mL; Minsalud, 1984) y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud para Enterococos (< 40 UFC/ 100 mL; OMS, 2003) en aguas recreacionales.

| Área | Estación | Enterococos (UFC/100 mL) | | C. Termotolerantes (NMP/100 mL) | |
|------------------------------------|-----------------|--------------------------|------------|---------------------------------|-------------|
| | | Lluvias 2010 | Seca 2011 | Lluvias 2010 | Seca 2011 |
| Sector Aeropuerto -Pozos Colorados | Aeropuerto | 44 | --- | 17 | 8,3 |
| | Pozos Colorados | 33 | 2 | 58 | 22 |
| | Alcatraces | 32 | 1 | 70 | 27 |
| Bahía Gaira | P. Salguero | 18 | 112 | 11 | 260 |
| | Parque Acuático | 129 | --- | 93 | 45 |
| | P. Rodadero | 38 | 1 | 4,5 | 130 |
| | P. Blanca | 33 | 1 | 8 | 22 |
| Bahía de Santa Marta | P. Batallón | 30 | 228 | 78 | 1700 |
| | Puente Calle 22 | 82 | 165 | 140 | 110 |
| | P. Municipal | 113 | 4 | 20 | 18 |
| | Calle 10 | 2000 | 488 | 1400 | 9200 |
| Bahía Taganga | P. Taganga | 46 | 4 | 23 | 13 |
| | Playa Grande | 9 | 13 | 190 | 1,8 |
| Parque Tayrona | Bahía Concha | 18 | 1 | 13 | 11 |
| | P. Neguanje | 13 | 11 | 0,9 | 0,9 |
| | Bahía Chengue | 1 | 1 | 2 | 0,9 |
| Sector Mendihuaca – Buritaca | P. Mendihuaca | 8 | 3 | 4,5 | 4,5 |
| | P. Buritaca | --- | 8 | --- | 23 |

Los ríos con mayores niveles de coliformes se encuentran en las áreas influenciadas por asentamientos humanos, ya sea de carácter urbano o ribereño. Este es el caso de los ríos Gaira y Manzanares que descargan a la zona costera concentraciones hasta 300 veces más que las transportadas por los ríos localizados en áreas de poca intervención antropogénica. En términos generales, desde el año 2001 estos han sido los tributarios que mayor aporte de coliformes han realizado a la zona costera del departamento; cabe resaltar que en el caso del río Gaira durante el primer semestre del 2011, se registró el máximo de coliformes termotolerantes en los once años de muestreo (240.000 NMP/ 100 mL), sobrepasando en un 41% el valor más alto hasta entonces (170.000 NMP/100 mL).

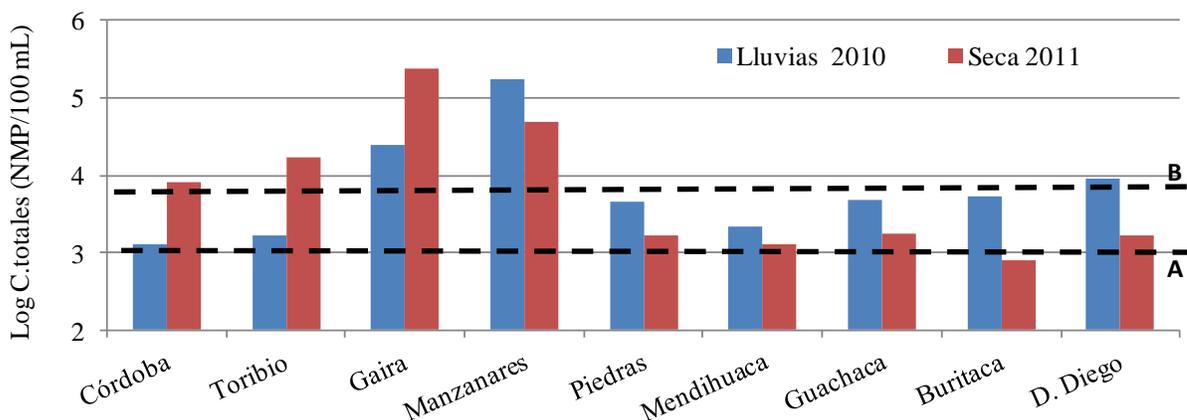


Figura 4.4–8. Concentración de coliformes totales (Logaritmo NMP/ 100 mL) durante la época lluviosa del 2010 y seca del 2011 en el agua superficial de los ríos del departamento de Magdalena. La Línea punteada A equivale al límite de referencia para aguas de contacto primario (1000 NMP/ 100 mL) y la línea punteada B equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto secundario, actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto (5000 NMP/100 mL)

4.4.3 Hidrocarburos

En la época de lluvias de 2010 los valores más altos de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos - HDD se registraron en las estaciones ubicadas en los ríos Gaira (2,79 µg/L), Piedras (1,49 µg/L) y Toribio (1,41 µg/L) y frente a los ríos Manzanares (1,23 µg/L) y Gaira (1,02 µg/L), mientras que en la época seca del 2011 (Figura 4.4–9), la cual fue atípica debido al fenómeno de La Niña, donde se presentaron incrementos en las precipitaciones entre 10 – 40% al promedio histórico de la época (IDEAM, 2011), los valores más altos se registraron en las estaciones río Manzanares (3,03 µg/L), frente al río Buritaca (1,77 µg/L), las playas de Taganga (2,21 µg/L) y Neguanje (1,53 µg/L) y el Emisario 8 (1,50 µg/L) los cuales no superan el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas propuesto por la UNESCO (1984). Estas concentraciones posiblemente se deben a la actividad portuaria, transporte marítimo, turismo, aguas servidas y lavaderos de vehículos en la zona.

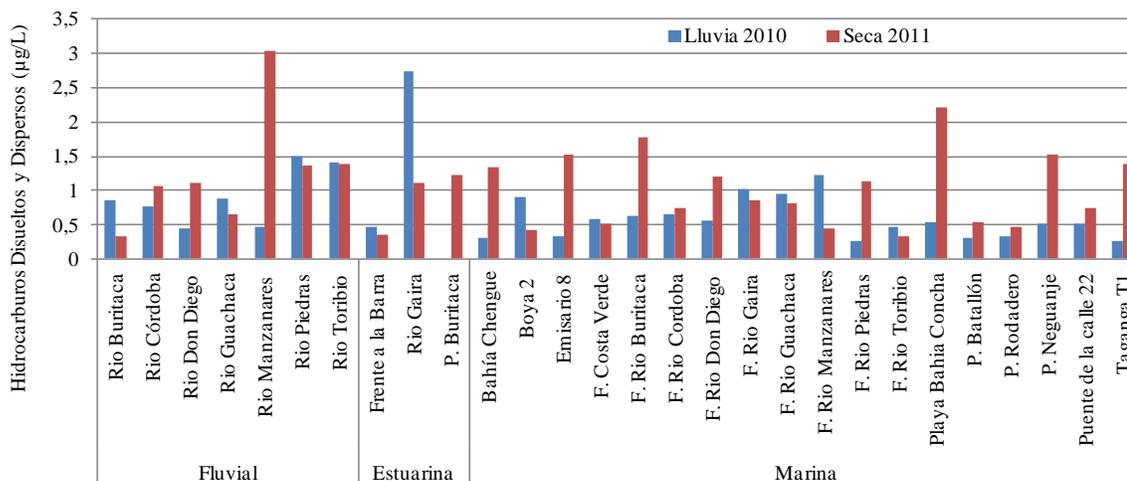


Figura 4.4–9. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) medidas en aguas superficiales de Magdalena, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

El análisis de HDD en este departamento inició en el 2001, hasta la actualidad, los ríos Manzanares, Gaira, Toribio, Buritaca y Córdoba son los que realizan los mayores aportes de este contaminante a la zona costera del departamento, mostrando en la época de lluvias un ligero aumento debido al lavado de los suelos de las cuencas de estos tributarios. En la época de seca de 2001, se registraron concentraciones por encima del valor de referencia de 10 µg/L propuesto por UNESCO (1984), en las estaciones río Manzanares 33,40 µg/L y frente al río Guachaca 21,59 µg/L y en la época de lluvias del mismo año en la boca del río Manzanares 12,57 µg/L (Figura 4.4–10). Después de 2001 las concentraciones de HDD detectadas en aguas superficiales han estado por debajo del valor de referencia para aguas contaminadas.

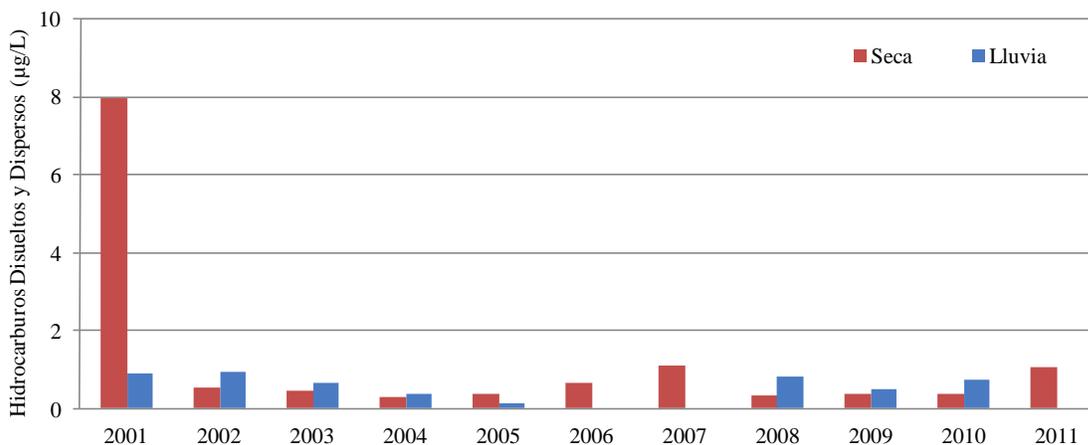


Figura 4.4–10. Promedios históricos de concentración (µg/L) de Hidrocarburos Dispersos y Disueltos (HDD), en aguas superficiales de las zonas costeras del departamento del Magdalena.

4.4.4 Metales Pesados

En el departamento del Magdalena no hay actividades industriales que puedan generar contaminación por metales pesados, en general las actividades que pueden verter este tipo de contaminantes al ambiente marino costero son principalmente las aguas servidas y las actividades portuarias. Se han realizado importantes estudios sobre la entrada de este tipo de contaminantes al medio acuático especialmente en la Ciénaga Grande de Santa Marta, en estos estudios no se han encontrado concentraciones que revistan peligro al medio acuático (Parra y Espinosa, 2007).

Entre la época de lluvias de 2010 y la época seca de 2011 el Pb fue el elemento que presentó las mayores concentraciones ($5,36 \pm 1,83$ y $1,65 \pm 1,77$ µg/L en la época de lluvias y seca, respectivamente; Figura 4.4–11), sin embargo estos valores son bajos con relación a los referenciados en guías internacionales como la NOAA para efectos agudos (210 µg/L Buchman, 2008). Las mayores concentraciones se registraron en las estaciones río Buritaca (9,44 µg/L) y río Toribio (7,67 µg/L) durante la época de lluvias de 2010 y las estaciones puente calle 22 (5,90 µg/L) y río Manzanares (4,04 µg/L) en la época seca de 2011, en general se evidencia una disminución de la concentración de Pb en todas las estaciones en la época seca de 2011 con relación a la época de lluvias de 2010, lo que puede ser atribuido al mayor aporte continental debido a las precipitaciones que se presentaron durante la época de lluvias de 2010 debido al fenómeno de “La Niña”.

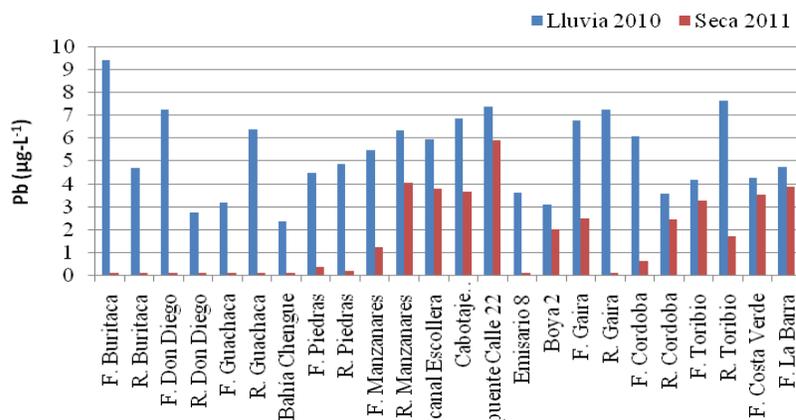


Figura 4.4–11. Concentraciones de plomo (Pb, µg/L) en aguas superficiales de la zona costera del departamento del Magdalena, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

En la época de lluvias de 2010 y época seca de 2011 la concentración de cadmio (Cd) en todas las estaciones estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada. En cuanto a el cromo (Cr) se registraron los mayores valores en las estaciones frente a río Córdoba (3,27 µg/L) y frente a costa verde (3,02 µg/L), en la época de lluvias de 2010, mientras en la época de seca de 2011 en todas las estaciones, estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada. Ninguno de los valores registrados fue mayor de los referenciados como de riesgo por guías internacionales para este tipo de aguas (40 y 50 µg/L para Cd y Cr, respectivamente, [Buchman, 2008](#); [Conama, 1986](#)).

En general, las mayores concentraciones de Pb y Cd se registraron en el año 2001 y en la época seca de 2002 (Figura 4.4–12). El plomo ha mostrado una clara tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo, las mayores concentraciones (160,4 y 102,9 µg/L) se registraron en las estaciones en el río Manzanares y frente a Manzanares en la época de lluvias de 2001, sin embargo estos valores están por debajo del valor referenciado por la NOAA como de riesgo (210 µg/L, [Buchman, 2008](#)), a partir de la época seca de 2003 las concentraciones de este elemento han estado por debajo de 10 µg/L. Por otra parte las mayores concentraciones de Cd (6,78 y 6,93 µg/L en el río Manzanares) se registraron en la época seca y lluvias de 2001, valor que no rebasa al reportado por guías internacionales para efectos agudos en aguas marinas superficiales (40 µg/L, [Buchman, 2008](#)), en general las concentraciones de este elemento han mostrado una tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo, en el año 2009 tanto en la época seca como lluviosa se evidencia un leve incremento, obteniéndose el mayor valor en la estación Boya 2 (4,62 µg/L) en la bahía de Santa Marta y frente a la Barra (2,20 µg/L) durante la época seca y lluvias de 2009 respectivamente.

Históricamente, las concentraciones de Cr han incrementado a lo largo del monitoreo (Figura 4.1-13), las mayores concentraciones se registraron en la época seca de 2009 en las estaciones Boya 2 y muelle de cabotaje (7,24 y 7,45 µg/L, respectivamente) estaciones ubicadas en la bahía de Santa Marta, no obstante estas concentraciones están muy por debajo de los valores de riesgo referenciado en normatividad internacional (50 µg/L, [Conama, 1986](#)).

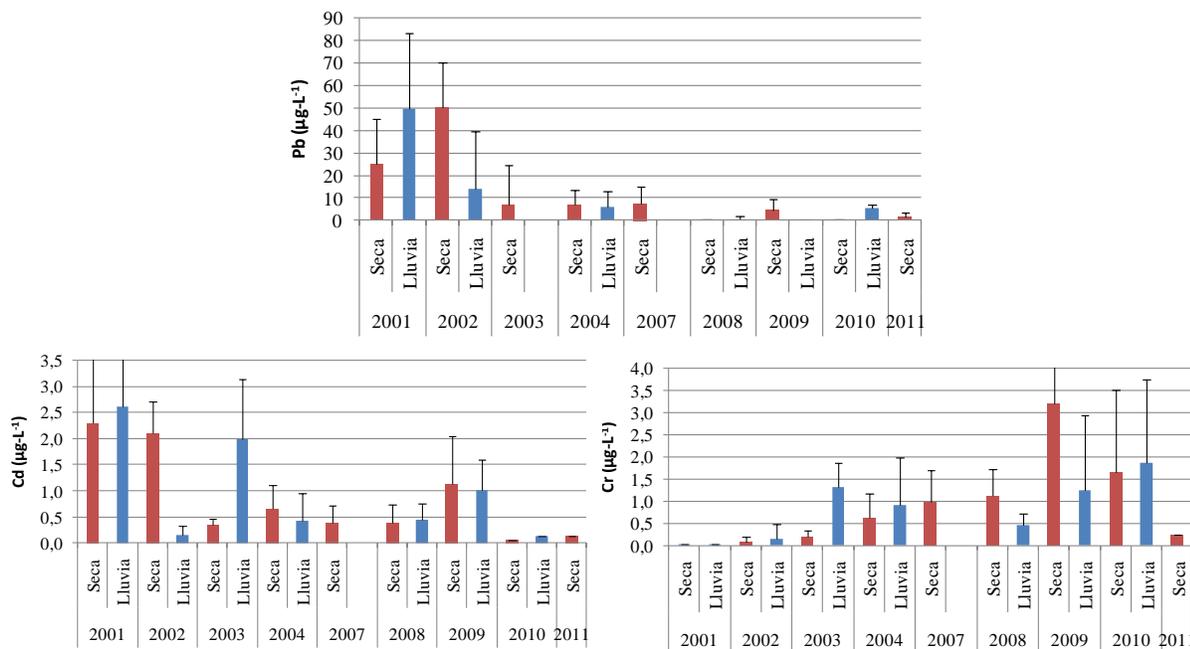


Figura 4.4–12. Comportamiento histórico de la concentración promedio de plomo (Pb), cadmio (Cd, $\mu\text{g}/\text{L}$) y cromo en aguas superficiales de la zona costera del departamento del Magdalena, en las épocas climáticas lluvias y seca.

4.4.5 Conclusiones

En la época lluviosa de 2010, las aguas superficiales de la costa del Magdalena mostraron menor salinidad, pH y oxígeno disuelto y mayores temperaturas que la época seca de 2011, variación que puede asociarse con procesos físicos como la orientación de corrientes marinas, la intensidad de vientos superficiales, la dinámica de la capa de mezcla, intensidad de la radiación solar, fenómenos de surgencias y las inundaciones causados por lluvias excesivas del fenómeno La Niña del 2010.

Una reducción de la calidad de agua marina en la época lluviosa 2010 también fue observado en cuanto a las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) y fósforo reactivo soluble (FRS), aunque el cambio estacional no fue atípico en comparación con la información histórica. Los ríos Manzanares, Gaira y la Calle 10 continúan siendo vías principales para el transporte de nutrientes a la zona costera, debido a las fuentes de aguas residuales domesticas que drenan en ellos. En cuanto a los arrecifes del Parque Nacional Natural Tayrona, concentraciones altas de nutrientes inorgánicas disueltas favorecen el florecimiento de macroalgas frondosas, en detrimento de los corales y aumenta el estrés identificado por la temperatura.

Por otro lado, ocho playas del departamento presentaron condiciones insuficientes de calidad microbiológica para el desarrollo de actividades recreativas. La zona de mayor riesgo es la bahía de Santa Marta debido a la carga microbiana proveniente de fuentes continentales como el río Manzanares y las escorrentías de la calle 10 y calle 22. En la actualidad las concentraciones de HDD en aguas son muy inferiores al valor de referencia ($< 10 \mu\text{g}/\text{L}$) y no reflejan impactos sobre el ambiente debido al carácter hidrofóbico de estos compuestos. Las concentraciones de Cd, Cr y Pb en las aguas superficiales, no superaron los valores referenciados como de riesgo en guías internacionales, por lo cual no se consideran de riesgo para el ambiente. No obstante, la concentración de Cr ha mostrado un leve incremento durante el monitoreo 2001 a 2010, por lo cual se recomienda seguir haciendo seguimiento de este elemento ya que las mayores concentraciones se registraron en estaciones ubicadas en la ciudad de Santa Marta como Boya 2, muelle de cabotaje y río Manzanares.

Atlántico



Playa Santa Verónica, Foto: Betty cadavid

4.5 ATLÁNTICO

El departamento del Atlántico se encuentra localizado en la región Caribe entre los 10° 16' 01" y 11° 04' 30" de latitud norte y 74° 43' y 75° 16' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 3.388 Km² y una extensión aproximada de 90 km de línea de costa desde Bocas de Ceniza hasta las salinas de Galerazamba y 105 km desde su desembocadura en Bocas de Ceniza hasta el desprendimiento del Canal del Dique en Calamar (IGAC, 2002). La zona costeras se encuentra influenciada por el desarrollo de la actividad industrial que constituye la actividad económica más importante del departamento, así como por el desarrollo del turismo, la actividad doméstica a través de las descargas de aguas residuales en los cuerpos de agua y la influencia del río Magdalena, principal arteria fluvial del País y mecanismos de transporte para diversidad de contaminantes desde la zona continental al área marina. Con el fin de establecer la influencia de estas actividades se ha localizados a lo largo de la línea de costa 15 estaciones de la red de monitoreo REDCAM, de las cuales cinco son de carácter fluvial y están ubicadas sobre el cauce del río Magdalena; tres son de carácter estuarino y siete son marinas (Figura 4.5-1). A continuación se describen los resultados del monitoreo de la REDCAM en las estaciones del departamento del Atlántico para el periodo de época de lluvias del año 2010 y época seca del año 2011.

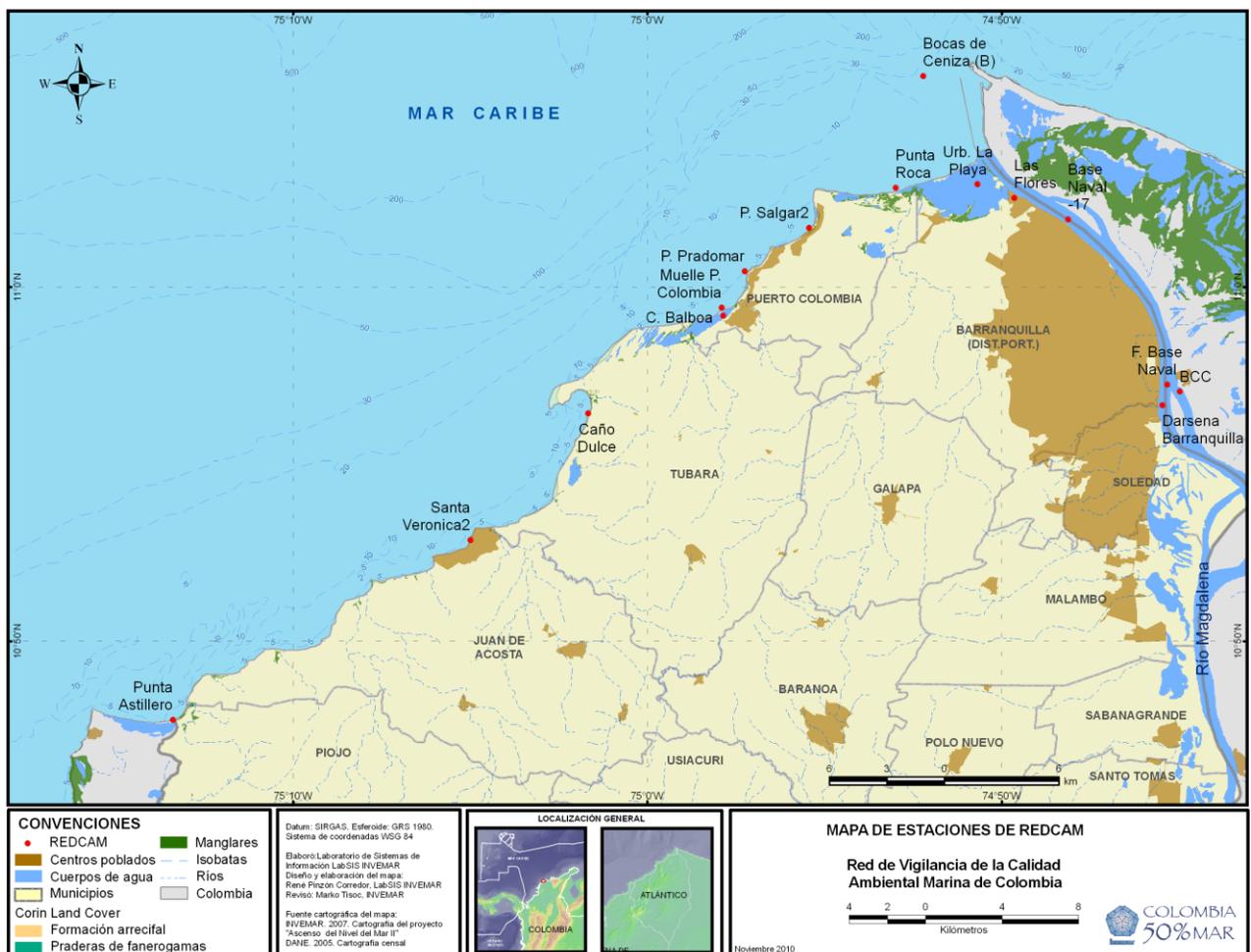


Figura 4.5-1. Estaciones de muestreo en el departamento de Atlántico

4.5.1 Variables Fisicoquímicas

4.5.1.1 *In situ*

En este período se observaron variaciones en la concentración de oxígeno disuelto (OD) en todos los tipos de agua. En aguas dulces el OD fluctuó entre 2,2 mg/L y 5,9 mg/L, en aguas estuarinas entre 4,1 mg/L y 9,1 mg/L y en aguas marinas entre 4,5 y 8,1 mg/L (Figura 4.5-2). En general, los valores de OD fueron superiores en la época seca, tal es el caso de la Ciénaga de Balboa la cual se destaca porque su aumento de OD en más del 50 % en 2011 superior al valor registrado en la época de lluvias de 2010. En adición a lo anterior, hay que resaltar que solamente se presentaron valores inferiores al límite mínimo permisible de 4,0 mg/L establecido por la Norma colombiana para preservación de vida acuática (Minsalud, 1984) en la temporada de lluvias en las estaciones localizadas sobre el río Magdalena. Este hecho puede estar relacionado con fenómenos de consumo de oxígeno por parte de microorganismos que realizan procesos de oxidación de la materia orgánica que continuamente es vertida a través de las aguas del río Magdalena por fuentes domesticas y agrícolas cuenca arriba, al igual que por fuentes industriales en la ciudad de Barranquilla. Así mismo, pueden ser el reflejo de la presencia de materiales en suspensión provenientes de las descargas residuales que son vertidas al río, lo cual promueve mayor consumo de OD e impide la penetración directa de la luz. El análisis comparativo de los resultados de OD con respecto a los datos obtenidos históricamente en las aguas costeras del departamento mostró que los valores se enmarcan dentro del rango histórico ($7,1 \pm 2,5$ para la época seca y $6,13 \pm 2,4$ para la época de lluvias).

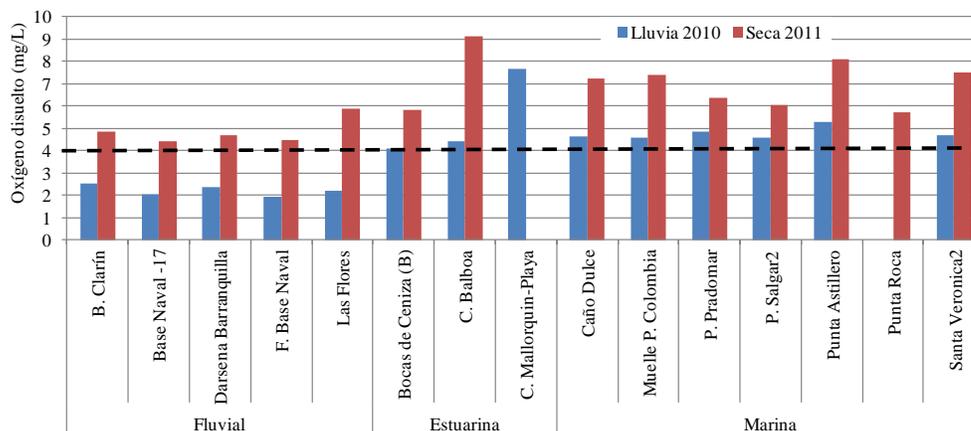


Figura 4.5-2 Comportamiento del Oxígeno Disuelto (mg/L) en aguas superficiales del departamento del Atlántico, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

Al igual que el oxígeno, el pH también tuvo ligeras variaciones acorde a las características de cada tipo de agua. Se registraron rangos de 7,0 a 7,5 para aguas de ríos, de 7,4 a 9,0 para aguas estuarinas y de 7,8 a 8,3 en aguas marinas. En términos generales estos valores se encuentran dentro del intervalo que establece la norma colombiana para la preservación de vida acuática (6.5 – 9.0; Minsalud, 1984). Se destaca como máximo valor para el periodo evaluado, el registro de la estación Centro Ciénaga Mallorquín-Urbanización La playa durante la época lluviosa de 2010 (valor de pH), que aunque presenta una gran incidencia de aguas dulces del río Magdalena, la acidez no sería una condición general, puesto que los cambios dependerán de la capacidad amortiguadora del agua y esta a su vez, de los valores de carbonato de calcio (Baird, 2011). Con respecto a la distribución histórica de pH, los valores obtenidos durante estas dos épocas se encuentran dentro del promedio de los últimos 11 años de monitoreo ($7,6 \pm 0,7$).

En el caso de la salinidad el comportamiento está en función del tipo de agua y la época climática. En aguas fluviales el máximo valor fue de 0,086, en tanto que en aguas estuarinas se presentaron variaciones

en un rango amplio, comprendido entre 0 a 7,5 en época de lluvias y 0,1 a 55,8 en época seca; en contraste; en aguas marinas la salinidad fluctuó en un rango más estrecho, con valores entre 30, 2 a 41,3 en la época lluviosa y de 35,6 a 37,4 durante la época seca, los cuales son niveles característicos para este tipo de aguas (Figura 4.5-3). Los valores extremos de salinidad como los medidos en la estación de la ciénaga de Balboa (55,8) durante la época seca obedecen principalmente al escaso nivel en la columna de agua que alcanzó la ciénaga en el período seco 2011 debido al debilitamiento que tuvo para esta época el fenómeno climático “La Niña” y consecuente disminución en el régimen de precipitaciones en la mayor parte de la región Caribe (IDEAM, 2011). Igualmente los aumentos de temperatura promueven la evaporación y concentración de sales en el agua. Históricamente esta Ciénaga ha presentado niveles de salinidad elevados, con un máximo valor de 82,6 registrado en el año 2009 (INVEMAR, 2011)

En cuanto a la temperatura, ésta presentó ligeras variaciones con valores entre 28,3 y 30,8 °C para la época lluviosa de 2010 y entre 25,7 y 30,1 para la época seca de 2011. Se observó de manera general, una ligera tendencia de disminución hacia la época seca, la cual se hace un poco más evidente para el grupo de estaciones marinas los cuales suelen ser relacionados con periodos de insolación por absorción de calor recibido del exterior.

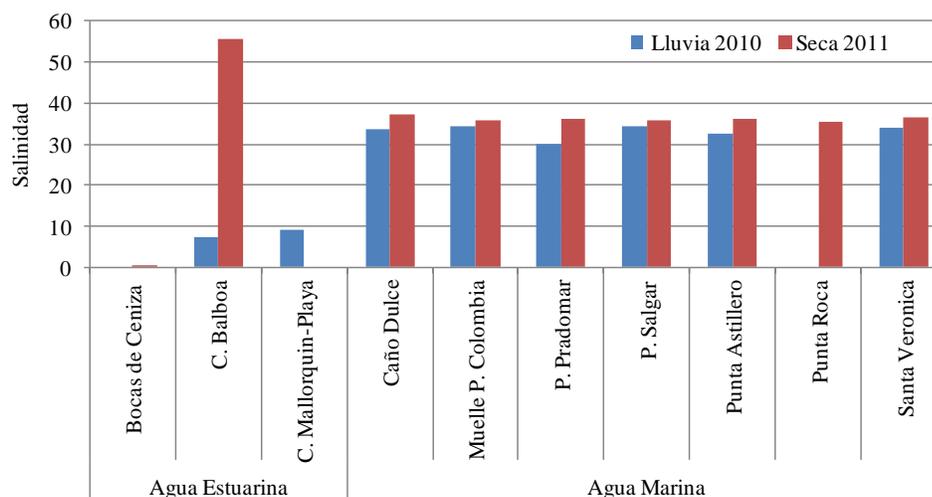


Figura 4.5-3. Comportamiento de la salinidad en aguas superficiales de la zona costera del departamento del Atlántico, durante la época lluviosa de 2010 y seca de 2011

4.5.1.2 Nutrientes y Sólidos

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en las estaciones del Río Magdalena y las estaciones estuarinas mostraron una variación temporal ($p < 0,05$), con valores más altos en la época seca 2011 que la época lluviosa 2010 (Figura 4.5-4). De igual forma, sus concentraciones fueron superiores, hasta seis veces, a las registradas en aguas marinas. Especialmente se nota un aumento en las concentraciones del Río Magdalena entre las estaciones Frente Base Naval, Base Naval - Carrera 17 y Las Flores; entre estas estaciones hay un tramo de 10 km del río que pasa al lado de la zona industrial (Vía 40) de la ciudad de Barranquilla (Figura 4.5-1) en donde muchas industrias vierten sus aguas residuales, explicando el aumento observado en los SST entre estas estaciones. Un análisis de los datos históricos en estas estaciones desde el año 2002, muestra que aunque el aumento espacial descrito ha ocurrido en años anteriores, este comportamiento no ha sido consistente a través de todos los años (INVEMAR, 2011), por lo tanto las concentraciones de SST en la desembocadura del río que son influenciadas por los vertimientos de la Vía 40, dependerán también de la frecuencia y cantidad de la descarga.

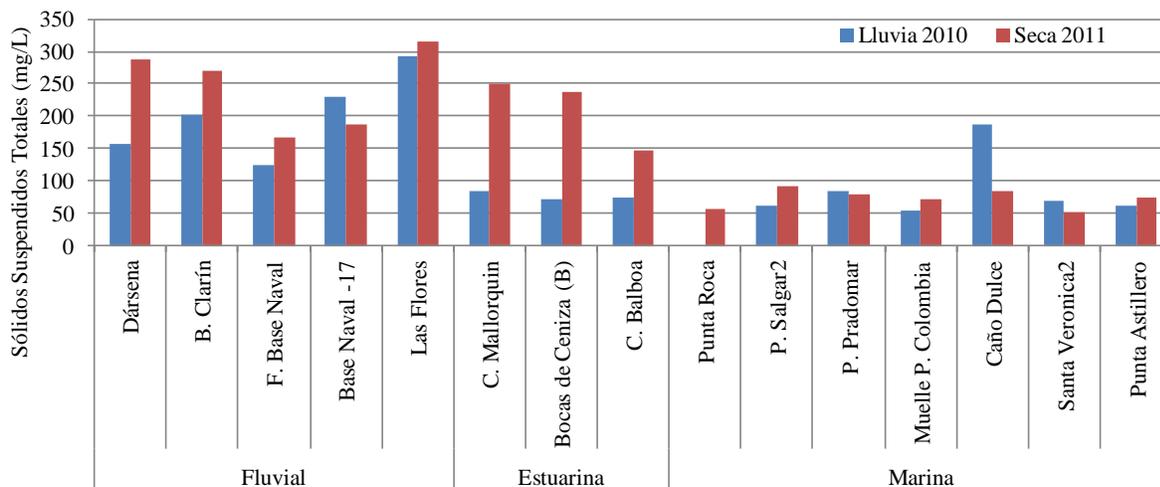


Figura 4.5-4. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) en aguas superficiales del departamento del Atlántico en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) en términos de nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) y amonio (NH_4) fueron más altas en la época seca que en la lluviosa ($p < 0,05$), particularmente en las estaciones del Río Magdalena y las estaciones de carácter estuarino (Figura 4.5-5). Las menores concentraciones de NID en esta época pueden estar asociados al fenómeno climático La Niña presentado en este año, donde el incremento en los volúmenes de agua en el río pudo contribuir con la dilución del NID, y de hecho el NID de la época lluviosa 2010 fue relativamente bajo en comparación con datos históricos de la REDCAM (INVEMAR, 2011). Sin embargo, las aguas del río y su desembocadura mostraron niveles de NID mucho más altos que las aguas marinas, destacando el aporte de fuentes de nitrógeno desde la zona continental a la zona marina.

Los niveles de NID más altos se registraron en las estaciones de Darsena Barranquilla, Frente Base Naval y Base Naval – Carrera 17, con altas proporciones de NH_4 ($> 50\%$) indicando aportes grandes de materia orgánica. Al igual que los SST y turbidez, se observó un aumento de NID en la estación Base Naval – Carrera 17 después de la zona industrial de la ciudad. Estos resultados podrían deberse a las aguas residuales domésticas y los vertimientos industriales de la ciudad.

Las concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS) en las aguas superficiales de la zona costera no mostraron una diferencia consistente entre las épocas. Sin embargo si se observó una diferencia entre los tipos de agua, de tal manera que las concentraciones fueron más altas en los ríos y aguas estuarinas (promedio: $34,4 \pm 15,6 \mu\text{g/L}$) que en las aguas marinas (promedio: $8,1 \pm 4,3 \mu\text{g/L}$). Los valores más altos se presentaron en las estaciones Centro Ciénaga Mallorquín ($343,4 \mu\text{g/L}$) en la época seca y Punta Astillero ($279,9 \mu\text{g/L}$) en la época lluviosa. Cabe notar que aunque la estación Centro Ciénaga Mallorquín ha presentado recurrentemente valores altos de FRS en la época seca, en el caso de Punta Astillero el registro de este periodo sería el más alto desde el año 2004 (INVEMAR, 2011). Por otra parte, las concentraciones actuales de FRS son consistente con los datos históricos del departamento (INVEMAR, 2011).

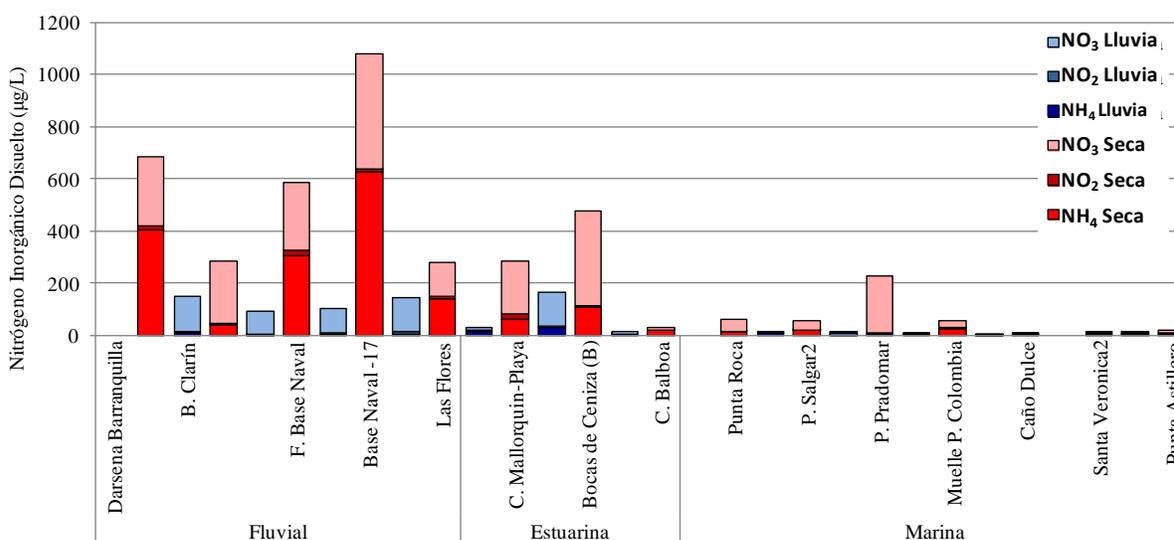


Figura 4.5-5. Concentración de nitrógeno inorgánico disuelto en las formas de amonio (NH₄), nitrito (NO₂) y nitrato (NO₃) en aguas superficiales del departamento del Atlántico en la época lluviosa 2010 y seca 2011.

4.5.2 Contaminación Microbiológica

En este periodo, se observó que las mayores concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal se encontraron en aguas fluviales, seguido por estuarinas y por último marinas, sin presentarse diferencia entre épocas en ningún tipo de agua ($p < 0,05$). Al igual que en otras variables, las máximas concentraciones de coliformes se detectaron en las estaciones localizadas sobre el río Magdalena (3.500 – 1.100.000 NMP / 100 mL), lo cual obedece a la característica de los ríos de ser receptores de las descargas de residuos sólidos y líquidos de las poblaciones circundantes, sumado a que el río Magdalena recorre la mayor parte del territorio colombiano (Abraham, 2011). La presencia de altas concentraciones de microorganismos podría suponer riesgos para las poblaciones que emplean este recurso en actividades agrícolas, recreativas y de saneamiento básico, ya que la presencia de microorganismos del grupo indicador evidencia la presencia de otros microorganismos causantes de enfermedades (Arcos *et al.*, 2005; Stevens *et al.*, 2003)

En el caso de las aguas estuarinas representadas por las ciénagas de Balboa y Mallorquín, hay que destacar que los niveles de coliformes totales y termotolerantes en esta última ciénaga alcanzaron durante la temporada de lluvias del 2010 la máxima concentración del registro histórico desde el año 2001, con 160.000 NMP /100 mL coliformes totales y 35.000 NMP/ 100 mL de coliformes termotolerantes (INVEMAR, 2011). Esta laguna costera está sometida a diferentes presiones, ya que recibe los vertimientos de las aguas residuales domésticas de parte de la ciudad de Barranquilla, así como las descargas de residuos sólidos; ambos factores contribuyen con el aumento de las densidades microbianas en los cuerpos de agua.

Por otro lado, con excepción de Santa Verónica en todas las playas evaluadas las aguas marinas, presentaron condiciones insuficientes de calidad para actividades de contacto primario como el baño y la natación (Figura 4.5-6). Por otro lado, sólo la playa de Punta Astilleros en la época de lluvias del 2010 presentó condiciones no aptas para la realización de actividades de contacto secundario como los deportes náuticos, al sobrepasar el valor de referencia establecido por la legislación nacional (CTT < 5.000 NMP/ 100 mL; Minsalud, 1984). En este sentido, resulta importante mantener condiciones microbiológicas adecuadas en la calidad de las aguas, ya se protege la salud de los usuarios y se garantiza la oferta de balnearios como base del turismo en el departamento.

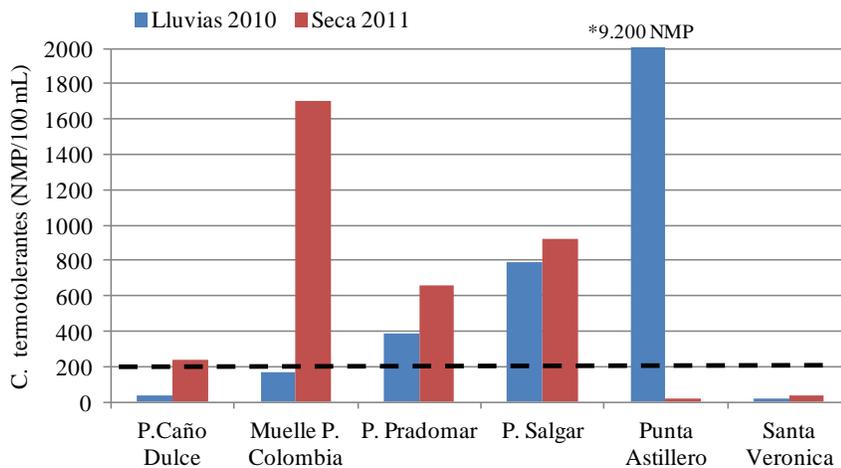


Figura 4.5-6. Concentración de coliformes termotolerantes (CTE) en aguas marinas superficiales destinadas a actividades de recreación en el departamento del Atlántico durante la época de lluvias del 2010 y seca del 2011. La línea punteada indica el límite permisible de CTE para aguas de contacto primario (Minsalud, 1984).

4.5.3 Hidrocarburos

En la época de lluvias de 2010 los valores más altos de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos - HDD se registraron en las estaciones ubicadas en el río Magdalena Frente a Darsena (1,57 µg/L) y la Ciénaga de Balboa (2,26 µg/L), mientras que en la época seca del 2011, la cual fue atípica debido al fenómeno de La Niña, donde se presentaron incrementos en el nivel del río cercano a 5,7 metros (IDEAM, 2011), los valores más altos se registraron en las estaciones sobre el río Magdalena Frente a Darsena (1,0 µg/L), y Frente a Base Naval (1,57 µg/L) y Boca Caño Clarín (3,05 µg/L), y en las Ciénagas de Mallorquín en la urbanización la Playa (3,37 µg/L) y Balboa (1,57 µg/L). Estas concentraciones posiblemente se deben a la actividad portuaria, las aguas residuales industriales y domésticas, transporte marítimo, turismo y los residuos oleosos traídos por el río Magdalena. Los valores registrados no superan el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas propuesto por la UNESCO (1984) (Figura 4.5-7).

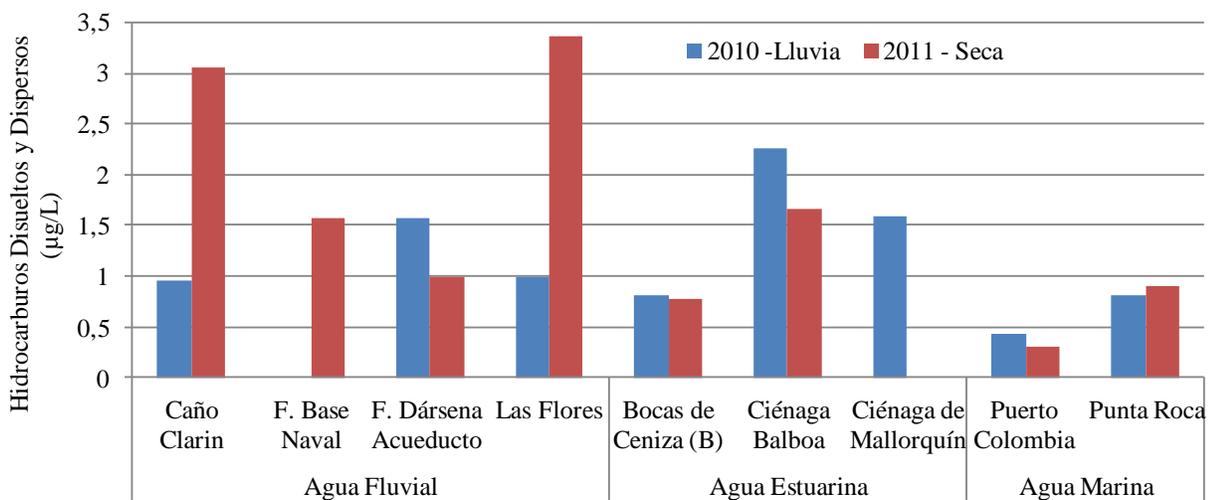


Figura 4.5-7. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) medidas en aguas superficiales de Atlántico, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

El análisis de HDD en este departamento se inicio en el 2001 hasta la actualidad, siendo las estaciones ubicadas sobre el río Magdalena y la Ciénaga de Mallorquín con un promedio de $1,70 \pm 2,66 \mu\text{g/L}$ los que realizan los mayores aportes de este contaminante a la zona costera del departamento, mostrando en la época de lluvias un ligero aumento debido al aporte de las aguas residuales domésticas e industriales llevadas por los caños que atraviesan la ciudad de Barranquilla y al lavado de los suelos de la cuenca de este tributario. En la época de lluvias de 2001, se registraron concentraciones por encima del valor de referencia de $10 \mu\text{g/L}$ de UNESCO (1984), en las estaciones Ciénaga de Mallorquín urbanización las Flores $12,40 \mu\text{g/L}$ y Bocas de Ceniza $10,50 \mu\text{g/L}$ y en la época seca de 2010 en la estación frente a la Base Naval $13,69 \mu\text{g/L}$. El resto las concentraciones de HDD detectadas en aguas superficiales han estado por debajo del valor de referencia de $10 \mu\text{g/L}$ para aguas contaminadas (Figura 4.5-8).

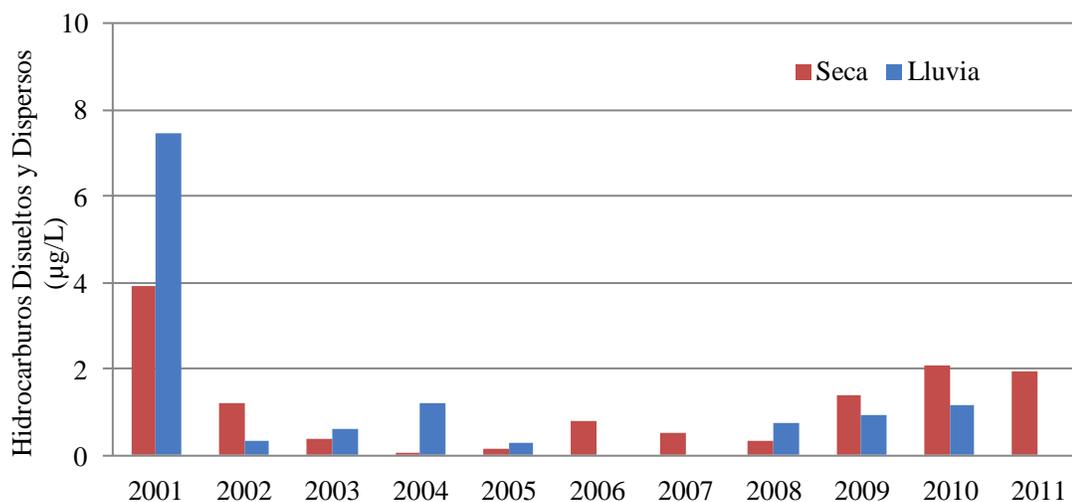


Figura 4.5-8 Promedios históricos de hidrocarburos medidos en aguas superficiales de Atlántico, entre 2001-2011.

4.5.4 Metales Pesados

En este departamento las aguas del río Magdalena y las actividades industriales de los municipios de Barranquilla, Soledad y Malambo, así como al vertimiento de sus aguas servidas presentan la mayor influencia en la calidad de las aguas marino costeras. Se ha identificado al río Magdalena como la principal fuente de contaminación por este tipo de tóxicos en la zona litoral costera de este departamento al tener su desembocadura en esta área, trayendo consigo las descargas provenientes de los desechos industriales y de aguas negras de las principales ciudades del país (Cedeño *et al.*, 2001). Se suma la contribución directa de las industrias metalúrgicas, productoras de químicos, curtiembres, agroquímicos, entre otras, de la zona industrial de la ciudad de Barranquilla (Garay y Vélez, 2004).

En el periodo comprendido entre la época de lluvias de 2010 y la época seca de 2011, se analizaron los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr), en las aguas superficiales del departamento. El Pb presentó las mayores concentraciones en la época seca de 2011 (en promedio $2,02 \pm 2,12 \mu\text{g/L}$), mientras en la época de lluvias de 2010 todos los valores estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica usada ($<0,15 \mu\text{g/L}$ Figura 4.5-9), sin embargo estos valores están muy por debajo con relación a los referenciados en guías de calidad internacionales como de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas ($210 \mu\text{g/L}$ Buchman, 2008). Las mayores concentraciones se registraron en las estaciones Boca Caño Clarín ($5,61 \mu\text{g/L}$) y ciénaga de Mallorquín ($4,22 \mu\text{g/L}$) durante la época seca de 2011. Durante el periodo analizado no se evidencia una tendencia espacial de la concentración de este elemento.

En la época de lluvias de 2010 y época seca de 2011 se evidencia que las mayores concentraciones de Cd se registraron en las estaciones con influencia del río Magdalena (Figura 4.5-10), en la época lluviosa de 2010 la mayor concentración se registró en la estación las Flores (0,97 µg/L), mientras en la época seca de 2011 se registró la mayor concentración en la estación Boca caño Clarín (0,70 µg/L). Ambos valores están por debajo del reportado por guías internacionales para efectos agudos en aguas marinas superficiales (40 µg/L, Buchman, 2008). En cuanto al Cr, tanto en el muestro de la época de lluvias de 2010 y como en el de la época seca de 2011 mas del 75 % de las estaciones registraron valores por debajo del límite de detección de la técnica analítica usada. Las estaciones que registraron los mayores valores durante la época de lluvias de 2010 fueron las estaciones Boca Caño Clarín (2,33 µg/L) y las Flores (2,69 µg/L), mientras en la época seca de 2011 se registró el mayor valor en la estación Base Naval Carrera 17 (0,90 µg/L). Ninguno de los valores registrados fue mayor de los referenciados como de riesgo por guías internacionales para este tipo de aguas (50 µg/L, Conama, 1986). De igual manera la tendencia espacial presentada que las estaciones que presentaron los mayores valores son las influenciadas por aguas del río Magdalena, por lo que se puede inferir que la entrada de estos elementos se está dando por la influencia de este tributario.

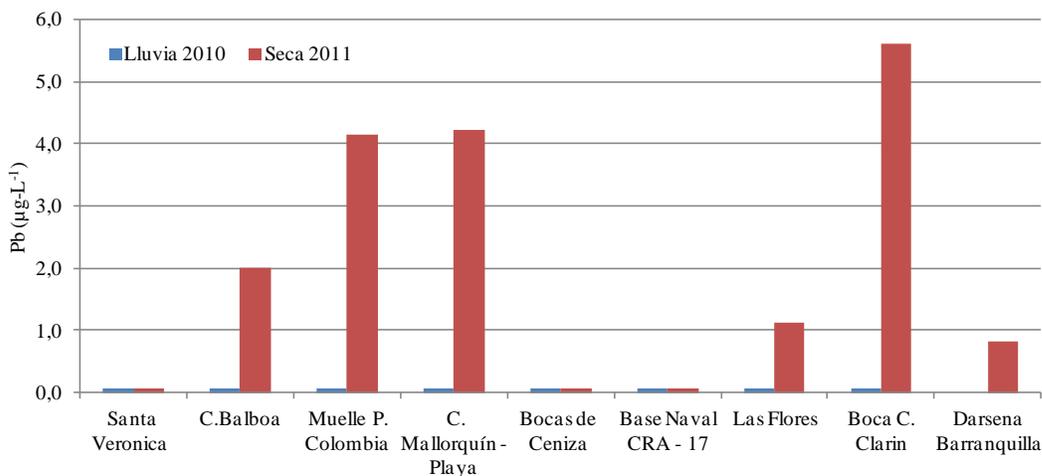


Figura 4.5-9. Concentraciones de plomo (Pb, µg/L) en aguas superficiales de la zona costera del departamento del Atlántico, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

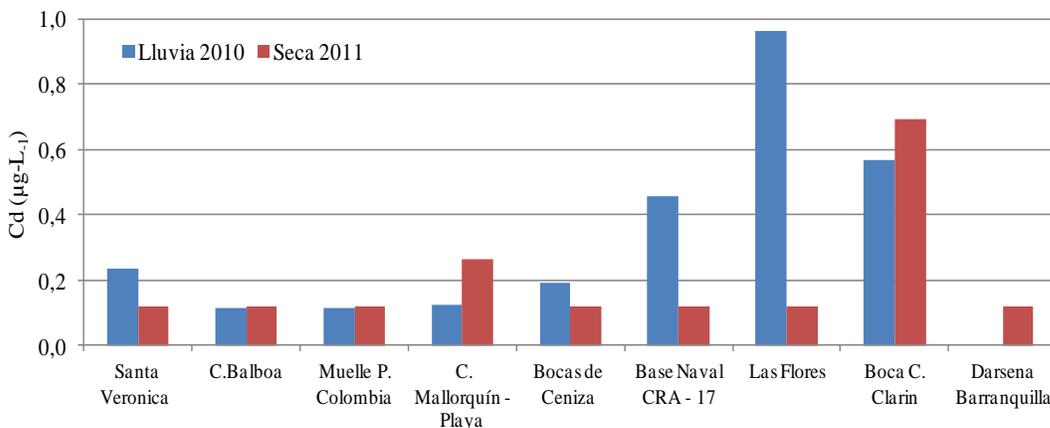


Figura 4.5-10. Concentraciones de cadmio (Cd, µg/L) en aguas superficiales de la zona costera del departamento del Atlántico, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

El análisis histórico de estos elementos en el marco del monitoreo REDCAM desde el año 2001, evidencia que las mayores concentraciones de Cd y Pb se registraron en la época seca de 2002 ($4,52 \pm 1,82$ y $28,14 \pm 1,29$ $\mu\text{g/L}$ de Cd y Pb, respectivamente, Figura 4.5-11), mientras para el Cr las mayores concentraciones se registraron en la época seca de 2004. La tendencia general de estos elementos ha sido a disminuir a lo largo del monitoreo. En el plomo se nota su disminución en la actualidad con relación a los años 2001 y 2002, sin embargo no se han registrado durante el monitoreo valores que impliquen riesgo para los organismos (210 $\mu\text{g/L}$ [Buchman, 2008](#)). Con relación al Cd, en general las mayores concentraciones se han registrado en el sector del río Magdalena; sin embargo estos valores no sobrepasan los valores de riesgo que pueden presentar efectos agudos en los organismos establecidos por guías internacionales (40 $\mu\text{g/L}$, [Buchman, 2008](#)).

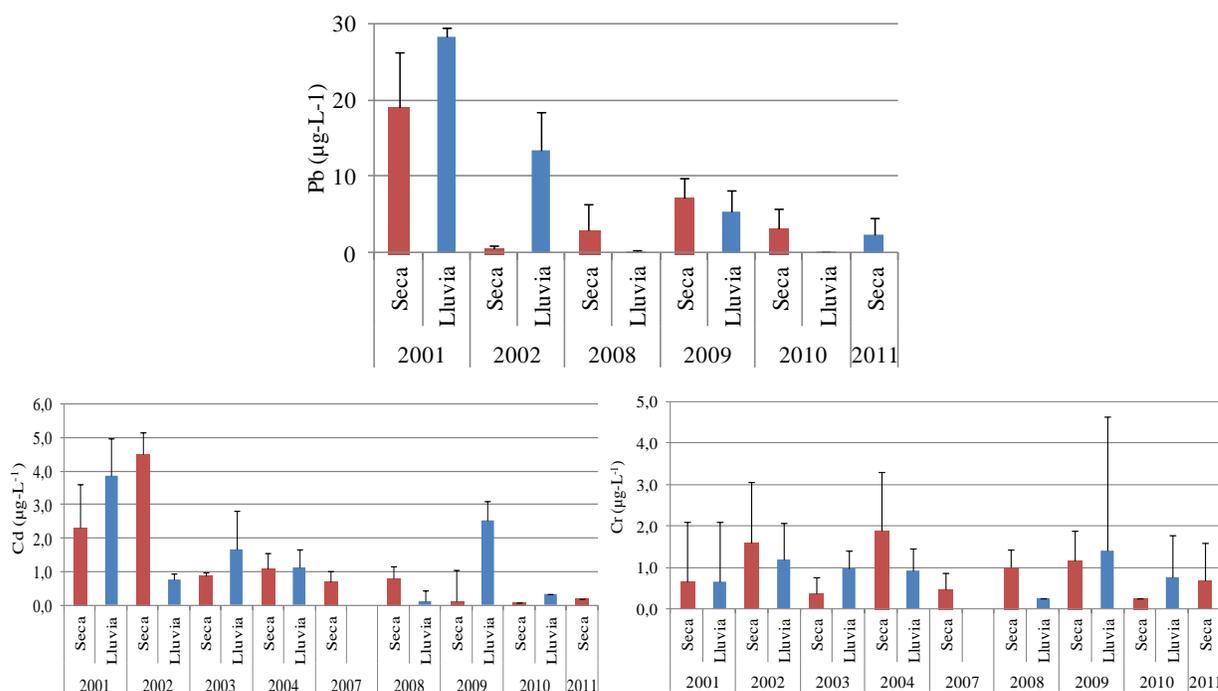


Figura 4.5-11. Comportamiento histórico de la concentración promedio de Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr) en aguas superficiales del departamento de Atlántico, en las épocas climáticas lluvias y seca.

Históricamente, las concentraciones de Cr (Figura 4.5-11), no han mostrado una tendencia tan clara como el Pb y Cd. Las mayores concentraciones promedio se han registrado en la época seca de 2002 y 2004 ($1,60 \pm 1,45$ y $1,89 \pm 1,40$ $\mu\text{g/L}$ respectivamente), sin embargo estos valores están muy por debajo de los valores de riesgo referenciado en normatividad internacional (50 $\mu\text{g/L}$, [Conama, 1986](#)).

Las estaciones que ejercen mayor influencia sobre la concentración promedio de estos metales para el departamento del Atlántico durante el periodo muestreado son las ubicadas en el sector del río Magdalena, como se había mencionado antes las aguas de este río posiblemente traen consigo altas tasas de contaminantes químicos provenientes de las zonas industriales del interior del país que pueden influenciar de una manera directa la calidad de las aguas en esta zona. Las concentraciones registradas en el departamento del Atlántico, aunque no rebasan los límites en las guías internacionales, su presencia reviste importancia y por lo tanto es indispensable continuar con su monitoreo y extenderlo a otras matrices ambientales como son los sedimentos los cuales pueden dar un mejor indicativo del comportamiento y destino final de estos contaminantes.

4.5.5 Conclusiones

Los valores de oxígeno disuelto presentaron variaciones entre épocas. Se observaron menores concentraciones en la época lluviosa del 2010 y niveles inferiores al límite de referencia nacional establecido para preservación de flora y fauna en las estaciones del río Magdalena. La salinidad presentó cambios relevantes en aguas estuarinas, donde se reportó una concentración extrema de salinidad en la ciénaga Balboa durante la época seca, debido a la salinización que esta presenta por el escaso nivel alcanzado en sus aguas.

Los niveles de sólidos suspendidos totales, nitrógeno inorgánico disuelto y fósforo reactivo soluble obtenidos en el presente periodo muestran el gran aporte de nutrientes y sedimentos que lleva el Río Magdalena hasta al mar, así como el impacto significativo que tiene la ciudad de Barranquilla sobre la calidad de este tributario. Durante la época lluviosa del 2010 que se caracterizó por eventos de inundación causados por el fenómeno climático La Niña, los sólidos suspendidos totales y el nitrógeno inorgánico disuelto se encontraron en menor concentración que el rango de valores histórico, posiblemente por el efecto de dilución generado por el aumento del nivel de agua en el río. En contraste, las concentraciones de fósforo reactivo soluble se mantuvieron en el rango característico del departamento.

Durante el periodo actual, las playas Pradomar y Salgar presentaron de manera recurrente condiciones insuficientes de calidad microbiológica para actividades de contacto primario. Entretanto, la playa Santa Verónica se destacó por presentar condiciones óptimas de calidad durante las dos temporadas. En el caso de contacto secundario, sólo la estación Punta Astilleros en la temporada de lluvias del 2010 presentó condiciones inadecuadas para el desarrollo de estas actividades.

Las concentraciones de cadmio, cromo y plomo en las aguas superficiales, no superan los valores referenciados como de riesgo en guías internacionales, por lo cual no se consideran de riesgo para el ambiente. No obstante, la concentración de cromo no ha mostrado una tendencia similar a decrecer como el caso del plomo y cadmio, por lo cual se recomienda seguir haciendo seguimiento de este elemento. Durante el monitoreo se ha evidenciado que las mayores concentraciones de estos elementos han sido registradas en el sector del río Magdalena, lo cual indica que este es la mayor fuente de este tipo de contaminantes en el departamento del Atlántico.

En la actualidad las concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos en aguas son muy inferiores al valor de referencia ($<10 \mu\text{g/L}$), sin embargo las estaciones ubicadas sobre el río Magdalena y la Ciénaga de Mallorquín tienen riesgo de contaminación debido a las actividades portuaria e industrial, las descargas domésticas y los diferentes arroyos de la ciudad de Barranquilla, por ello es importante continuar con el monitoreo.

Bolívar



Bahía de Cartagena. Foto: Janet Vivas-Aguas

El Canal del Dique descarga altos volúmenes de agua dulce y materiales terrígenos del Río Magdalena a la bahía, otorgándole características de ambiente estuarino. El río corre desde sus afluentes principales, los ríos San Jorge y Cauca, a través del área más anegadiza del país, la Depresión Momposina, hasta una intrincada red de brazos y caños. Este sistema fluvial drena las aguas de una gran cuenca (270.000 km²) que representa el 24% del área espacial del país, la cual contiene varias fuentes domésticas, industriales y agrícolas de contaminación.

4.6.1 Variables Físicoquímicas

4.6.1.1 *In situ*

Las variables físicoquímicas de las aguas costeras del departamento de Bolívar muestran diferencias entre épocas de muestreo (lluviosa 2010 y seca 2011) y entre los diferentes tipos de aguas (dulces, estuarinas y marinas). La concentración de oxígeno disuelto (OD) en la mayoría de las estaciones de aguas marinas estuvo por encima de 4,0 mg/L, valor mínimo permisible exigido por la norma colombiana para los propósitos de preservación de vida acuática (Minsalud, 1984), lo cual denota buenas condiciones según los criterios establecidos. Contrario a las estaciones de aguas dulces y estuarinas del Canal del Dique y de la bahía de Barbacoas (Caños Lequerica, Matunilla, Correa y Arroyo Plata) el OD estuvieron por debajo del límite permisible, relacionadas posiblemente con aportes importantes de materia orgánica vertida a través del Canal del Dique. Desde el 2001, sólo se han encontrados niveles bajos de OD en estas estaciones para la época lluviosa 2007, y en el caso de la desembocadura del Arroyo Plata en tres ocasiones durante el 2006 y 2009 (INVEMAR, 2011). La infrecuencia de estas concentraciones bajas sugiere la existencia de un efecto puntual del Canal del Dique y de la bahía de Barbacoas (Figura 4.6–2).

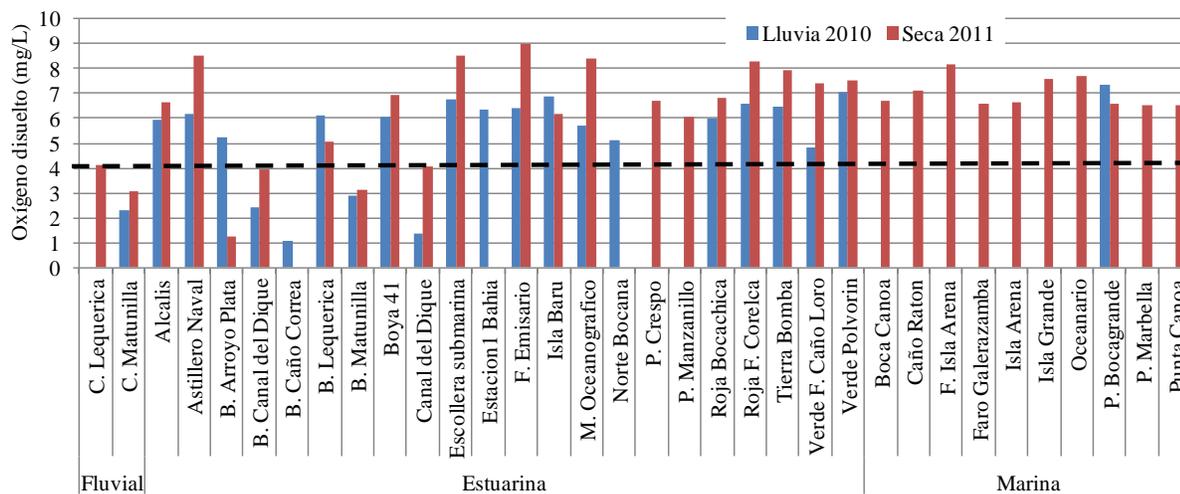


Figura 4.6–2. Comportamiento del oxígeno disuelto (mg/L) en aguas superficiales del departamento del Bolívar, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011

El valor de pH fluctuó entre 6,9 y 8,4 en las islas del Rosario y la bahía de Barbacoas, de 6,9 a 8,2 en la bahía de Cartagena y entre 7,8 y 8,1 para las del sector Norte-Galerazamba. Especialmente se observa que mientras los valores en aguas marinas son tendientes de mantener el mismo orden de magnitud ajustándose a los rangos considerados como normales para agua marina (7.0 – 8.5; Minsalud, 1984; Cognetti *et al.*, 2001), en aguas estuarinas las variaciones son más marcadas debido a los aportes de agua dulce que recibe la bahía a través de los caños. Los valores de pH registrados durante 2010-2011 se enmarcaron dentro del rango permisible de 5,0 a 9,0 establecido en la legislación colombiana para propósitos de preservación de fauna y flora (Decreto 1594 de 1984, Art. 45; Minsalud, 1984). Igualmente estos valores coinciden con el promedio histórico del departamento (8,2 ± 11,8).

En cuanto a la salinidad el análisis es parcial ya que no se cuenta con datos de todas las estaciones para el período evaluado. La salinidad promedio en agua marina en la época lluviosa de 2010 fue de 29,4 y se midió en la estación Playa Bocagrande, ubicada sobre la bahía de Cartagena en tanto que las aguas estuarinas presentaron variaciones entre estaciones de muestreo, con valores entre 0,8 y 21,1. Estas variaciones son propiciadas por el régimen de mareas, de vientos, patrones de circulación además de los procesos de mezcla entre agua dulce aportada por el Canal del Dique o los caños y el mar dentro de la bahía interna y en diferentes épocas climáticas del año (Lonin et al., 2007).

La temperatura superficial del agua oscila entre 28,0 y 30,7 °C para la época lluviosa 2010 y entre 28,0 y 33,9 °C durante la época seca 2011, con pequeñas variaciones posiblemente asociadas a horas de insolación durante la toma de muestras. En las zonas coralinas de las islas de Rosario, las temperaturas superficiales fueron entre 28,0 y 28,4 °C, de forma que no representa una amenaza para a los corrales, pero sería importante mantener la vigilancia en estas zonas ya que la temperatura en estas estaciones ha superado 30°C en años pasados (INVEMAR, 2011), la cual si que representa una condición de riesgo para los corrales que son sensibles y pueden degradarse por el efecto de blanqueamiento en condiciones de temperaturas por encima de los 30°C (Vega-Sequeda et al., 2011; Hoegh-Guldberg, 1999).

4.6.1.2 Sólidos y Nutrientes

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) no mostraron diferencias significativas entre la época de lluvia y la época seca ($p > 0,05$), aunque se notan niveles de SST mucho más altos en la época seca (127 – 462 mg/L) que la época lluviosa (26 – 76 mg/L), especialmente en el Canal del Dique (boca y río arriba (Figura 4.6–3), el Caño Lequerica y su boca, y el Caño Matunilla y su boca. Los SST más altos de la época seca se obtuvieron en estas estaciones, pero los niveles son parecidos a sus promedios históricos (INVEMAR, 2011), mientras que los SST en la época lluviosa estuvieron relativamente bajos. Una explicación posible de estos niveles bajos de SST en la época lluviosa puede ser que las altas precipitaciones del fenómeno La Niña del 2010 aumentaron el factor de dilución.

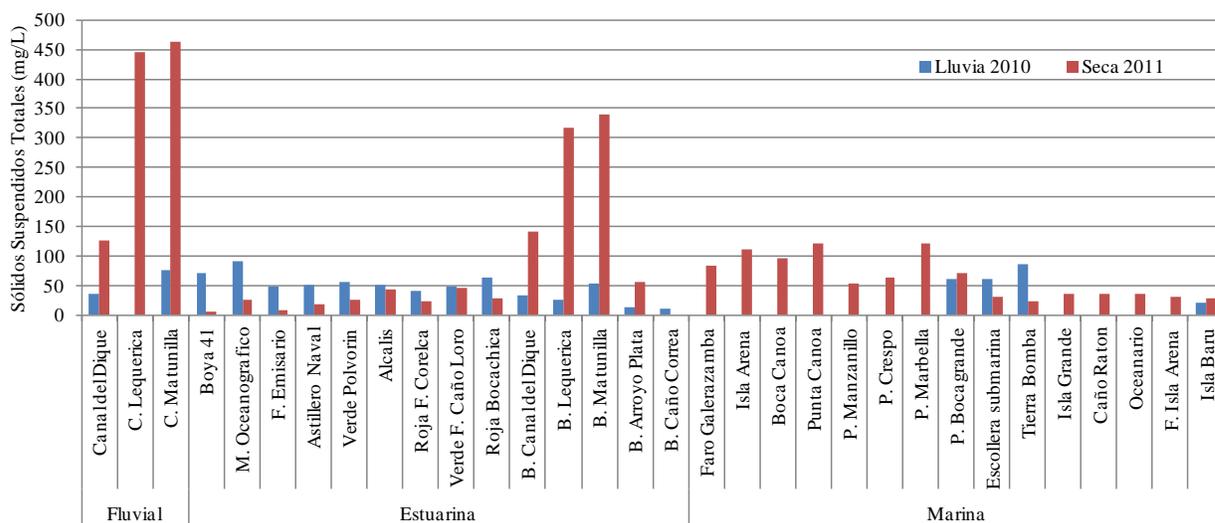


Figura 4.6–3. Concentraciones promedio de sólidos suspendidos totales (mg/L) en aguas superficiales de la zona costera del departamento de Bolívar en época lluviosa 2010 y seca 2011.

Por otra parte, estaciones de la Bahía de Cartagena tuvieron una concentración promedio de $41,0 \pm 22,1$ mg/L, mientras que estaciones de la costa norte del departamento tuvieron niveles más altos (promedio:

57,7 ± 31,2 mg/L) debido a su exposición al oleaje del mar abierto. Las estaciones de las islas de Rosario tuvieron las concentraciones más bajas (promedio: 30,6 ± 6,2 mg/L), las cuales no deben ser problemáticas para el salud de los arrecifes coralinos en comparación con el valor de referencia estimado para la perturbación de la reproducción de corales (50 mg/L; *Fabricius, 2005*), sin embargo, los procesos de sedimentación de los arrecifes son altamente influenciados por eventos puntuales de escorrentía que no fueron necesariamente reflejados en el muestreo del año actual. Las concentraciones máximas históricas en las estaciones de las islas de Rosario fueron resultado de la época seca del año 2006, cuando se encontró un valor promedio de SST de 120,0 ± 24,0 mg/L (*INVEMAR, 2011*).

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), en términos de nitratos (NO₃), nitritos (NO₂) y amonio (NH₄), no mostraron diferencias claras entre las dos épocas climáticas (Figura 4.6–4), aunque esta comparación no incluye las zonas del norte y de las islas de Rosario porque no se reportaron datos en estas para la época lluviosa 2010. En consideración de la falta de datos de las aguas marinas en la época lluviosa, una comparación entre los tipos de aguas se enfoque con los datos de la época seca y muestra que no fue mucha variación de las concentraciones de NID entre los ríos (promedio: 313,4 ± 142,7 µg/L), las aguas estuarinas de la bahía de Cartagena y la bahía de Barbacoas (promedio: 266,3 ± 131,2 µg/L), y las aguas marinas de la zona norte y las islas de Rosario (promedio: 288,4 ± 211,1 µg/L). Sin embargo, con la exclusión del resultado alto de NID en la estación Oceanario (988,3 µg/L) de las islas de Rosario, se detecta menos variación en las aguas marinas (desviación estándar: 87,3 µg/L) que en las aguas estuarinas y los ríos.

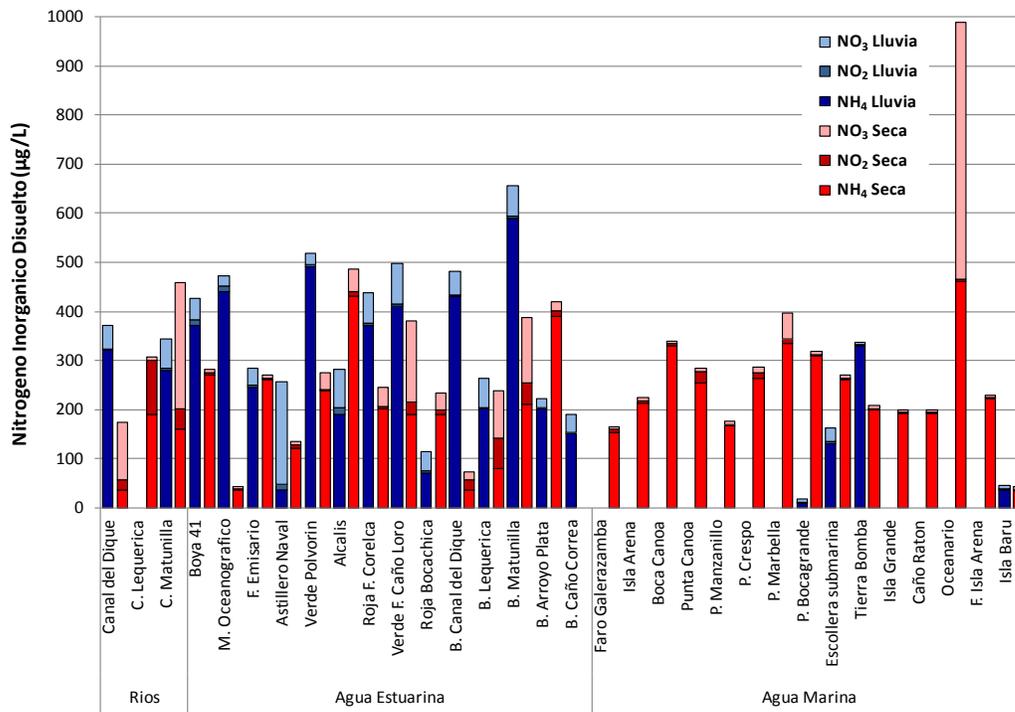


Figura 4.6–4. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (µg/L) en las formas de amonio (NH₄), nitrito (NO₂) y nitrato (NO₃) en aguas superficiales de las estaciones del departamento de Bolívar, en la época lluviosa 2010 y seca 2011.

La estación Oceanario está frente el acuario de las islas de Rosario, que tiene un elevado potencial de aporte de materia orgánica al medio que hace aumentar la concentración de NID, por sus efluentes domésticos debido al alto número de visitantes diarios y por los desechos generados por el gran número de

especies marinas presentes en el acuario que ocupa un espacio relativamente pequeño. Sin embargo, los datos altos de NID no son consistentes históricamente en la estación desde el inicio de su monitoreo en 2005, sino que son resultados puntuales como se notó anteriormente en la época seca 2006 ($N-NO_3 = 367 \mu\text{g/L}$) y la época seca 2010 ($N-NH_4 = 2556 \mu\text{g/L}$). La reducción de los aportes de nutrientes es particularmente importante para la conservación de los corales si el NID es muy superior al valor de referencia ($14,0 \mu\text{g/L}$) reportado para estados de florecimiento permanente de macroalgas frondosas en arrecifes del Caribe (Lapointe, 1997) y potenciales impactos a la fisiología de corales (Fabricius, 2005), como es el caso de las estaciones de Rosario que incluyen: Oceanario ($988,3 \mu\text{g/L}$), Isla Grande ($199,8 \mu\text{g/L}$), Caño Ratón ($199,8 \mu\text{g/L}$) y Frente Isla Arena ($229,8 \mu\text{g/L}$). Esta situación se muestra como un problema constante en los resultados de las islas de Rosario donde los promedios históricos de NID en estas estaciones están entre $220 - 370 \mu\text{g/L}$ desde el año 2003 (INVEMAR, 2011).

En comparación con los datos históricos, los resultados de NID en las aguas estuarinas y marinas son parecidos a los de años anteriores con promedios históricos en las aguas estuarinas de $266,7$ y $368,7 \mu\text{g/L}$, en las épocas seca y lluviosa, respectivamente, y en las aguas marinas de $223,9$ y $315,3 \mu\text{g/L}$, aunque los datos actuales en los ríos son relativamente bajos en comparación con sus promedios históricos de $676,5$ y $799,5 \mu\text{g/L}$ (INVEMAR, 2011). La fuente del nitrógeno parece ser la materia orgánica por la alta proporción de amonio. En el año actual, esta proporción fue 79% en promedio de todas las estaciones. En años pasados, la proporción fue generalmente igual entre amonio y nitrato en los ríos y las aguas estuarinas, contando con 97% del NID, sin embargo, en las aguas marinas de las islas de Rosario, el amonio históricamente cuenta con 77% del NID (INVEMAR, 2011). La materia orgánica puede ser aportado a la zona costera por una gran variedad de fuentes domésticas e industriales existentes en el departamento, pero el amonio indica aportes recientes, sugiriendo fuentes directas; en las islas de Rosario, como no hay industrias a las cuales se pueda deber un aporte reciente de materia orgánica, los resultados sugerirán que la fuente de nitrógeno procede de las actividades domésticas de las islas mismas.

Las concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS) estuvieron más altas en la época de lluvias que en la época seca ($p < 0,05$; Figura 4.6–5). Este resultado se podría explicar por las propiedades adhesivas del fósforo y el sedimento, y el excesivo escorrentía de sedimentos erosionados aportados por el aumento del caudal durante la época lluviosa 2010 debido al fenómeno climático La Niña, sin embargo, esta comparación temporal no incluye las aguas marinas de la zona norte o de las islas de Rosario, por falta de datos en la época lluviosa.

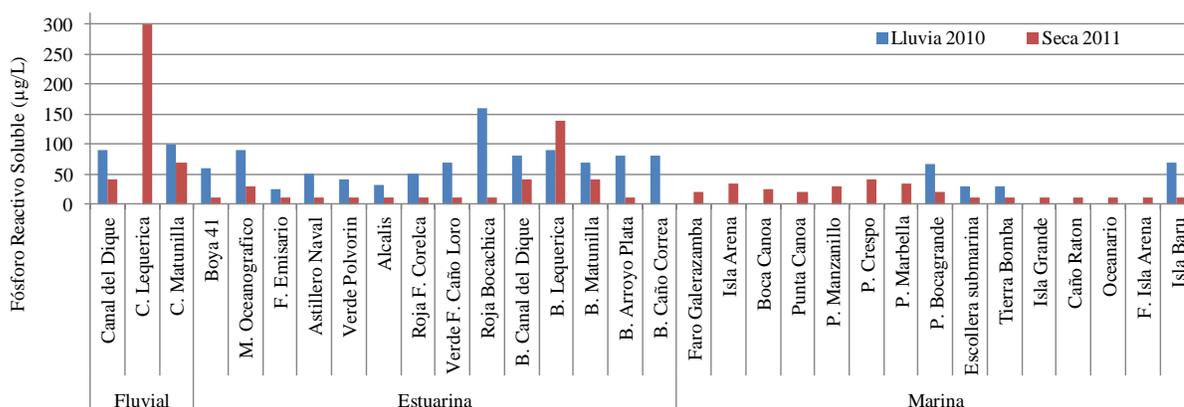


Figura 4.6–5. Concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS, $\mu\text{g/L}$) medidos en aguas superficiales del departamento de Bolívar, en la época lluviosa 2010 y seca 2011.

Las concentraciones de FRS más altas se encuentran en los aguas que drenan del Canal del Dique, incluyendo las estaciones fluviales y desembocaduras del Canal del Dique al igual como los canales

Lequerica y Matunilla (época seca: 40 - 300 µg/L; época lluviosa: 70 - 100 µg/L) que drenan del Dique hasta la bahía Barbaçoas. El FRS en la Bahía de Cartagena varió entre 10 y 30 µg/L en la época seca y entre 25 y 160 µg/L en la época lluviosa. Los niveles más bajos se encontraron en las aguas marinas, con una concentración promedio de $25,9 \pm 18,2$ µg/L. Los valores reportados en el año actual son comparables con los datos históricos del departamento que tienen medianas de 90, 30 y 20 µg/L en los ríos, aguas estuarinas y marinas, respectivamente (INVEMAR, 2011).

Las concentraciones reportadas en las áreas coralinas de las islas de Rosario fueron todas 10 µg/L en la época seca, debajo del valor de referencia sobre impactos a la fisiología de los corales (62,0 µg/L; Fabricius, 2005) y superior al valor reportado para el florecimiento permanente de macroalgas frondosas en arrecifes del Caribe (3,1 µg/L; Lapointe, 1997). Los valores actuales en las estaciones de las islas del Rosario están por debajo de su promedio histórico en la época seca ($33,6 \pm 31,4$ µg/L), pero los datos actuales no cubren la época lluviosa que históricamente ha resultado en niveles más altos de FRS (promedio: $50,7 \pm 74,4$ µg/L; INVEMAR, 2011). Aunque los datos no sugieren impactos a la fisiología de los corales, su magnitud muestra un riesgo para el ecosistema por el florecimiento permanente de macroalgas frondosas que impiden la conservación de los corales.

4.6.2 Contaminación Microbiológica

El análisis microbiológico en este periodo comprende una red de 41 estaciones localizadas en cuatro sectores: Bahía de Cartagena (17), Islas del Rosario – Barbaçoas (10), Zona Norte – Galerazamba (4) y Ciénaga de la Virgen (10). En la época de lluvias del 2010 y seca del 2011 se determinaron las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal en aguas estuarinas y fluviales de los sectores de la bahía de Cartagena y las islas del Rosario, con concentraciones de coliformes totales (CTT) hasta 160.000 NMP/ 100 mL y de coliformes termotolerantes (CTE) hasta 92.000 NMP/100 mL, sin observar diferencias entre los tipos de aguas. No obstante, si se encontraron diferencias en las concentraciones de CTE entre épocas ($W=154,5$ y $p: 0,04$), siendo en promedio 15 veces superiores los niveles en época de lluvias. En el caso de los CTT no se observaron estas diferencias ($p > 0,05$).

En la Bahía, las estaciones Boca del canal del dique y Alcalis, durante la época de lluvias presentaron los máximos registros históricos (INVEMAR, 2011). Desde el año 2001, los niveles más altos de coliformes en este brazo del río Magdalena se han registrado en esta temporada (Figura 4.6–6). Durante la época de lluvias, se genera el arrastre de los contaminantes que se encuentran retenidos en los suelos hacia los cuerpos de agua, así como la resuspensión de los microorganismos que están en el fondo de la columna, lo cual conlleva al aumento de las concentraciones microbianas en aguas superficiales (Coulliette y Noble, 2008; Hose et al., 2005). Por lo general, en los flujos de aguas lluvias los microorganismos no son de origen humano, las fuentes principales son las heces de animales de vida silvestre y domésticos (Casas, 2009; Mallin et al., 2000).

En el sector de la Bahía se encuentran varias playas que son empleadas en actividades recreativas, por lo tanto es importante destacar que sólo la playa Bocagrande en la época de lluvias del 2010 presentó niveles de CTE por encima de los valores establecidos en la legislación nacional para actividades de contacto primario como baño, natación y careteo (CTE < 200 NMP/100 mL; MINSALUD, 1984). Con relación al uso para realizar deportes náuticos, todas las playas evaluadas presentaron condiciones favorables. Las estaciones marinas ubicadas en el sector Islas del Rosario y Zona norte – Galerazamba, fueron monitoreadas en la época seca del 2011, donde se obtuvieron concentraciones máximas de CTT y CTE de 1.100 NMP/ 100 mL en la estación del Oceanario. Fuera de esta estación, los niveles de CTT no superaron los 110 NMP/100 mL y los CTE los 17 NMP/100 mL. Estas condiciones son favorables para el desarrollo de actividades de contacto primario, secundario, así como de preservación de flora y fauna.

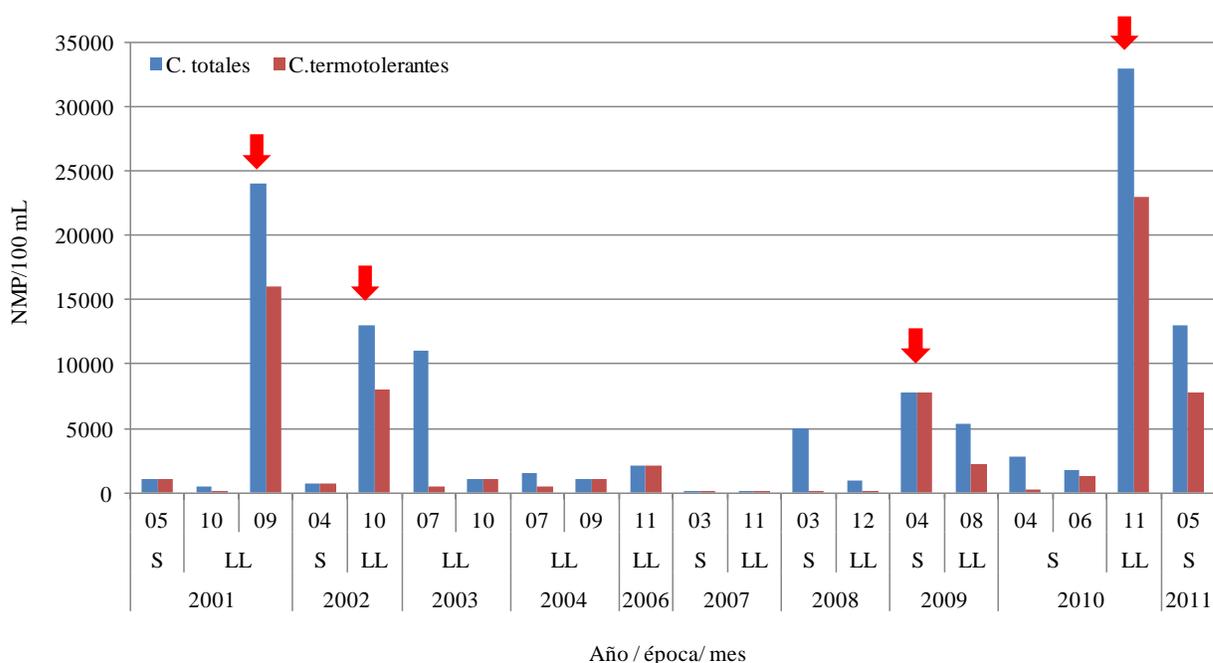


Figura 4.6-6. Concentración de coliformes totales y termotolerantes en la boca del Canal del Dique entre 2001 y 2011. Las flechas rojas indican los máximos niveles de coliformes que se han registrados en la época de lluvias.

4.6.3 Hidrocarburos

En el departamento de Bolívar en la época de lluvias de 2010 los valores más altos de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos - HDD se registraron en las estaciones ubicadas en la playa de Bocagrande (2,45 µg/L), frente al emisario (1,90 µg/L) y en Álcalis (1,00 µg/L), esto pudo deberse al fenómeno de La Niña, donde se presentaron incrementos en las precipitaciones entre 40 y 70% al promedio histórico de la época (IDEAM, 2010), por escorrentías municipales que podrían traer residuos oleosos, sumado al transporte y manejo portuario de petróleo, actividad portuaria, transporte marítimo, turismo, aguas servidas, lavaderos y talleres de vehículos que se presenta en la zona (Garay, 1993), pero los niveles de HDD (Figura 4.6-7) no superaron la referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas propuesto por la UNESCO (1984).

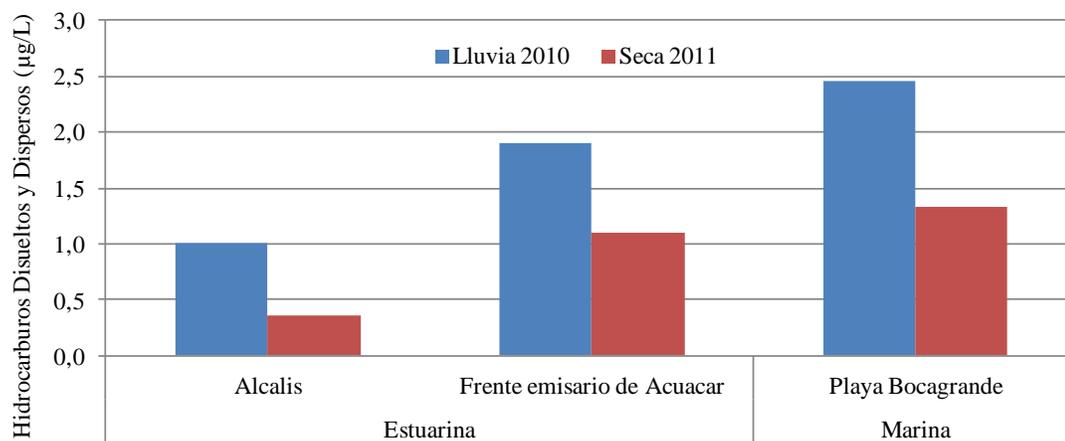


Figura 4.6-7. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) medidas en aguas superficiales de Bolívar, en la época lluviosa de 2010.

En Bolívar el análisis de HDD tiene datos del 2001 hasta el 2003 y se retomó en el 2010, mostrando una alta variación temporal en la concentración de este contaminante. En el año 2001 en la época seca, se registraron las mayores concentraciones de hidrocarburos en la Bahía de Cartagena sobre el canal de acceso al puerto en las estaciones Boya de Corelca (49,41 µg/L), Boyas No. 6 y 41 (12,35 µg/L) y las Boyas No. 29 y 50 (4,12 µg/L) y la desembocadura del Canal del Dique (37,06 µg/L) y en la época de lluvias en las estaciones Boya de Corelca (38,70 µg/L), Boya No. 6 (10,10 µg/L), Boya 41 (10,80 µg/L), Boya No. 29 (6,80 µg/L), y Boya No. 50 (4,12 µg/L) y la desembocadura del Canal del Dique (25,40 µg/L), los cuales pudieron haber afectado a las especies hidrobiológicas que se desarrollan en estas aguas, al registrar concentraciones por encima del valor de referencia de 10 µg/L de UNESCO (1984; Figura 4.6–8).

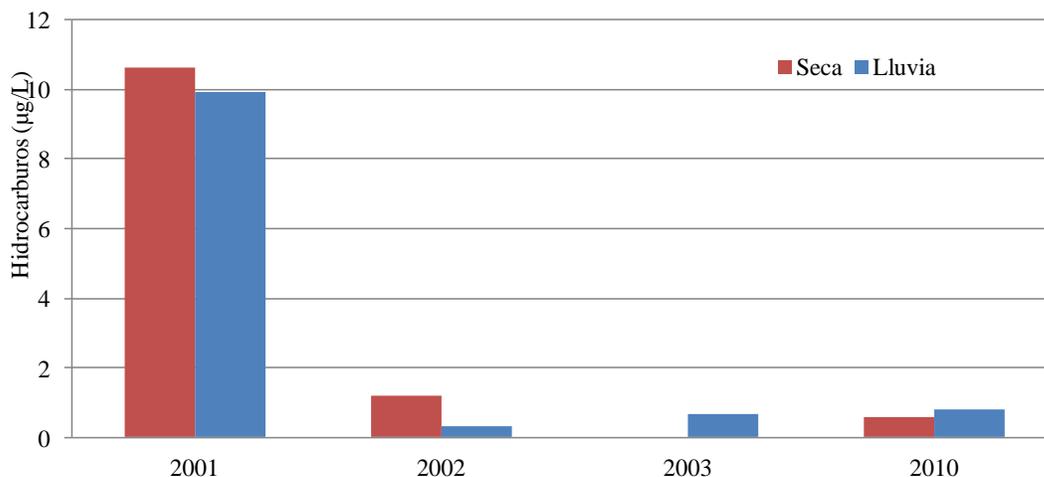


Figura 4.6–8. Promedios históricos de hidrocarburos medidos en aguas superficiales de Bolívar, entre 2001-2010.

4.6.4 Metales Pesados

En la zona costera del departamento de Bolívar, se han realizado diversos estudios de contaminación por metales pesados los más relevantes se han realizado en la bahía de Cartagena, especialmente por la contaminación con mercurio, debido a la existencia de la fábrica de Cloro-Soda que empleaba este elemento, como cátodo en la electrólisis para producción de Cloro, siendo los residuos finalmente descargados al mar (Guerrero *et al.*, 1980). Debido al interés despertado a partir de esta problemática de contaminación se han llevado a cabo diversos proyectos enfocados básicamente al “Estudio de la contaminación por metales pesados en la bahía de Cartagena”. Estos estudios han revelado la persistencia de la contaminación no solo con mercurio sino con otros metales pesados potencialmente tóxicos tanto en muestras de sedimentos como de aguas. Se han encontrado altas concentraciones en algunas zonas de la bahía de Cartagena, sobre todo las comprendidas dentro de la bahía interna y frente a la zona industrial de Mamonal, identificando una marcada influencia de la pluma del canal del Dique (Plagiardini *et al.*, 1982, Marciales y Duarte, 1988, Serguei *et al.*, 2003).

En el presente análisis, el Pb fue el elemento que presentó las mayores concentraciones ($15,12 \pm 1,46$ y $15,45 \pm 8,92$ µg/L para época de lluvias y seca, respectivamente) de los elementos analizados, sin embargo la mayoría de estaciones (>88 %) registraron valores por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada (25 µg/L), tanto en la época de lluvias de 2010 como la época seca de 2011. Las mayores concentraciones se registraron en la boca del caño Matunilla (31,0 µg/L) y caño Lequerica (33,0 µg/L) en la época de lluvias de 2010 y en la boca Matunilla (46,0 µg/L) y C. Matunilla (39,0 µg/L) en la época seca de 2011.

La concentración de cadmio (Cd) en todas las estaciones estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (10 µg/L). En cuanto al cromo (Cr) los valores que se registraron en todas las estaciones estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (25 µg/L). Ninguno de los valores registrados fue mayor de los referenciados como de riesgo en guías internacionales para este tipo de aguas (40 y 50 µg/L para Cd y Cr, respectivamente, Buchman, 2008; Conama, 1986).

Desde que inicio en el 2001 el monitoreo REDCAM se han analizado estos elementos, y se muestra en general que las mayores concentraciones de Pb se registraron en las épocas seca de 2001, 2005 y 2008 (Figura 4.6-9). El plomo no ha mostrado una tendencia definida, la mayor concentración promedio se registró en la época seca de 2005 (490,1 µg/L) durante este monitoreo en todas las estaciones los valores estuvieron hasta cuatro veces por encima del valor referenciado por la NOAA como de riesgo (210 µg/L, Buchman, 2008), de igual manera en la época de lluvias de 2006 y en la época seca de 2008, se han registrado valores superiores en cerca del 30 % de las estaciones monitoreadas, a partir de la época seca de 2009 más del 90 % de las estaciones presentaron valores por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (25 µg/L, Figura 4.6-9). Por otra parte las mayores concentraciones de Cd se registraron entre las épocas seca y lluvias de 2006 y época seca de 2007 (54,8 ± 26,1; 20,5 ± 26,2 y 46,1 ± 35,9 µg/L, respectivamente), hasta en el 40 % de las estaciones se registraron valores que rebasan al reportado por guías internacionales para efectos agudos en aguas marinas superficiales (40 µg/L, Buchman, 2008), a partir de la época de lluvias de 2007 en todas las estaciones la concentración de este elemento ha estado por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada (10 µg/L, Figura 4.6-9).

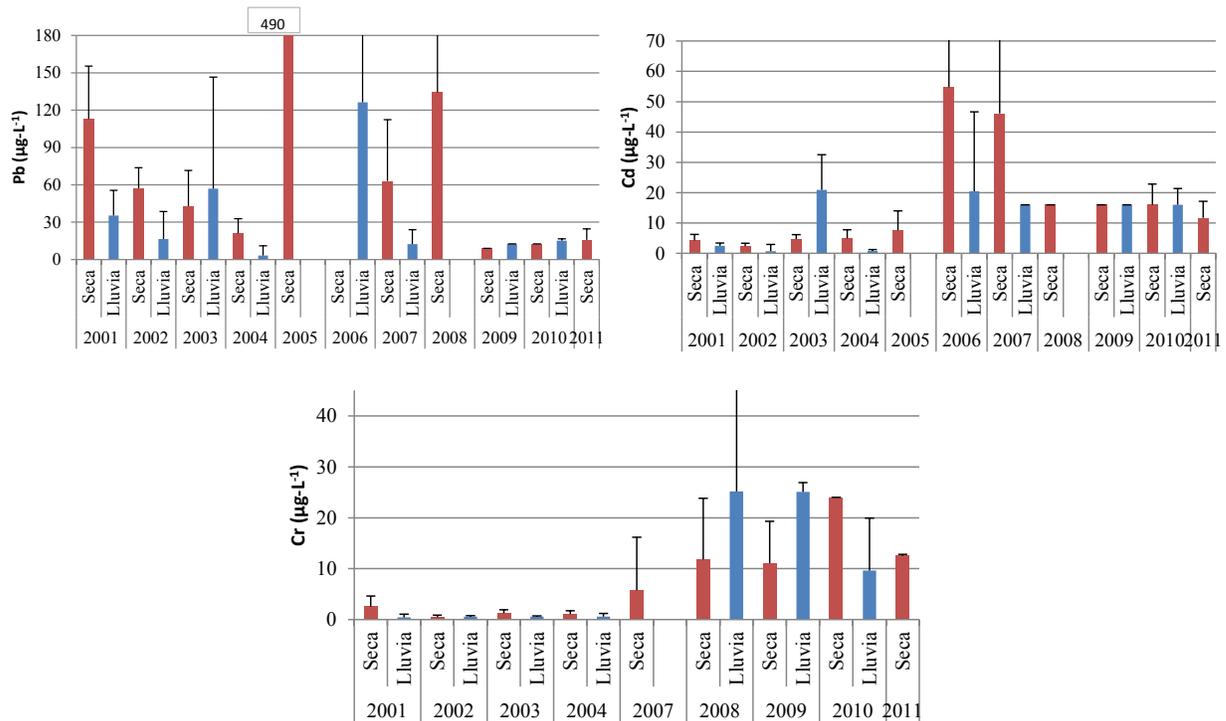


Figura 4.6-9. Comportamiento histórico de las concentraciones promedio de plomo (Pb, µg/L), cadmio (Cr, µg/L) y cromo (Cr, µg/L) medidas en aguas superficiales del departamento de Bolívar, en las épocas climáticas lluvias y seca.

A nivel histórico se evidencia que las concentraciones de Cr han incrementado a lo largo del monitoreo (Figura 4.6-9), la mayor concentración promedio (25,2 ± 25,9 µg/L) se registró en la época de lluvias de

2008, en las estaciones B. Canal del Dique y Caño Loro se registraron las mayores concentraciones (130 y 132 $\mu\text{g/L}$, respectivamente, INVEMAR, 2011), valores que están por encima de los valores de riesgo referenciado en normatividad internacional (50 $\mu\text{g/L}$, Conama, 1986), sin embargo solo en la estación C. Lequerica (70 $\mu\text{g/L}$) en la época seca de 2008 se registró una concentración que rebasa el mencionado valor de referencia, mientras a partir de la época de lluvias de 2009 en la mayoría de las estaciones las concentraciones se han registrado por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (25 $\mu\text{g/L}$).

4.6.5 Ciénaga de la Virgen

En la época seca del 2011, se retomó el sector de la Ciénaga de la Virgen dentro de la REDCAM, un cuerpo de agua interior de la zona urbana de Cartagena, con 10 estaciones (Figura 4.6–10) donde se midieron parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, hidrocarburos, plaguicidas, metales pesados, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y materia orgánica.

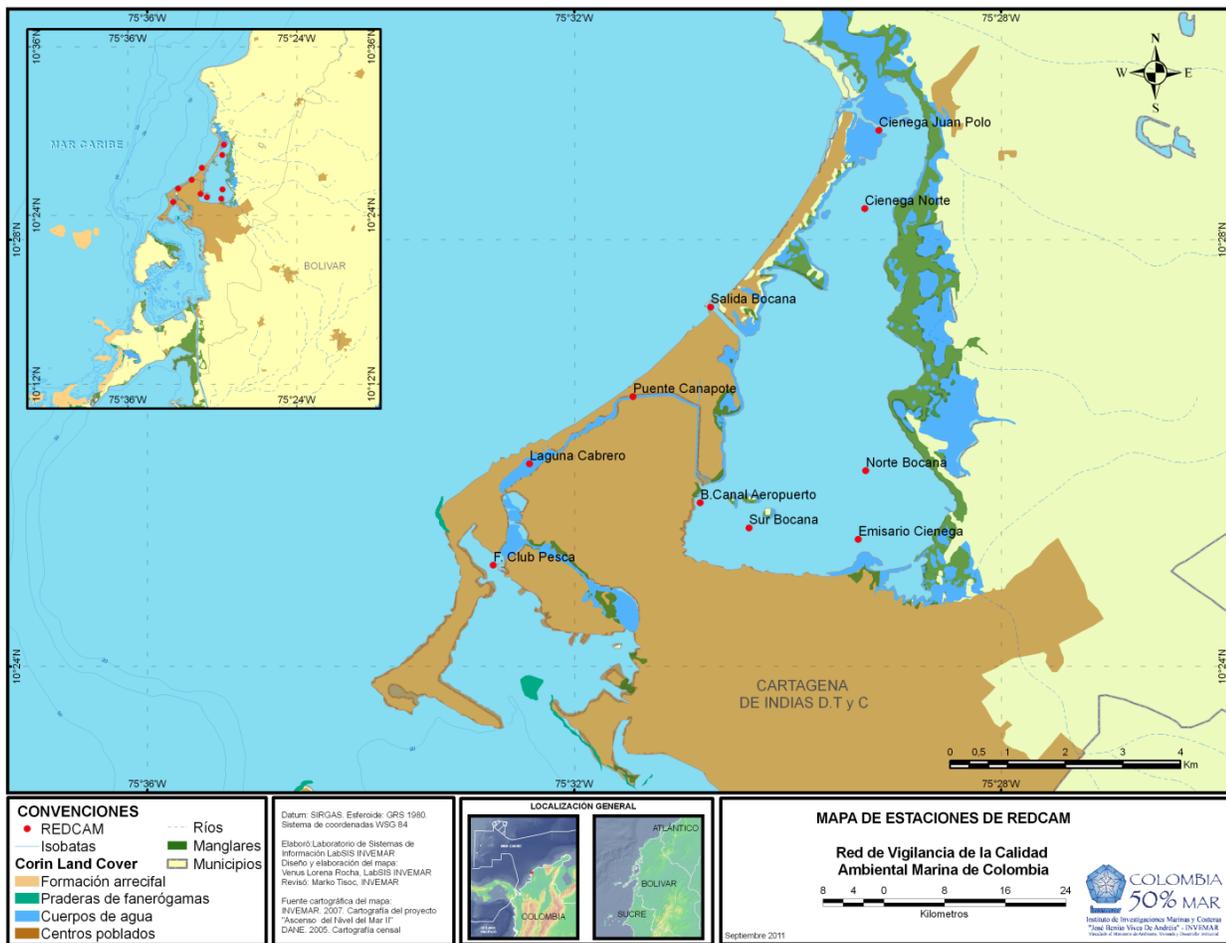


Figura 4.6–10. Estaciones de muestreo de la Ciénaga de la Virgen, lagunas y caños adyacentes.

Los análisis de las variables fisicoquímicas en las aguas de los cuerpos interiores de la Ciénaga de la Virgen mostraron para la época seca de 2011 valores de oxígeno disuelto adecuados para la preservación de vida acuática, ya que superaron el límite permitido de 4,0 mg/L (MinSalud, 1984) y el valor mínimo fue de 5,5 mg/L frente al Club de Pesca, y un máximo de 13,0 mg/L al Norte de la Pantalla de la Bocana (Figura 4.6–11), donde se evidencian condiciones de sobresaturación que no siempre es adecuado para los

organismos. De igual forma, al comparar los valores anóxicos de años anteriores en la ciénaga (1,97 mg/L en 1997; INVEMAR, 2011), las mediciones actuales pueden ser un indicativo del restablecimiento en las condiciones de salubridad y oxigenación del agua. Las concentraciones de DBO₅ en las estaciones boca canal Aeropuerto, Norte Bocana y Salida Bocana fue de 4,7; 7,1 y 6,8 mg/L, respectivamente. La materia orgánica presente se encontró en el rango de 2,1 – 3,2 mg/L, medida en todas las estaciones menos frente al Club de Pesca.

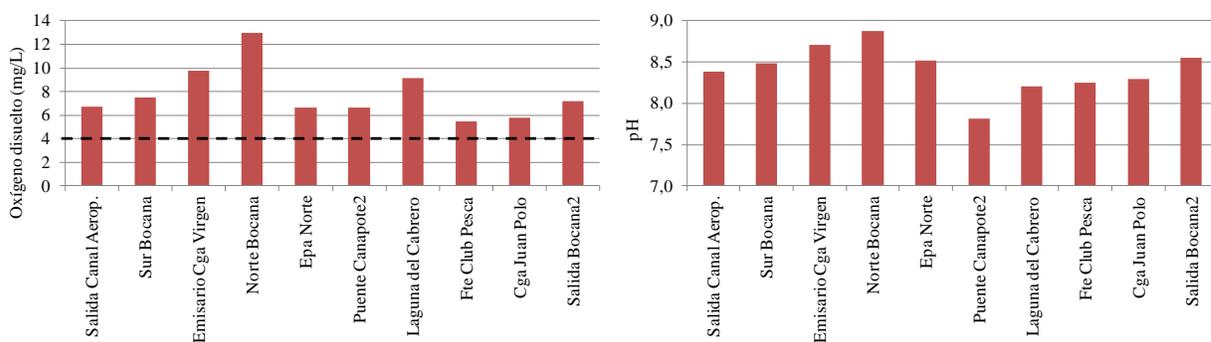


Figura 4.6-11. Comportamiento del oxígeno disuelto y el pH en aguas superficiales de los cuerpos interiores en la Ciénaga de la Virgen, en la época seca de 2011. La línea negra punteada representa el valor permitido para preservación de flora y fauna (Minsalud, 1984)

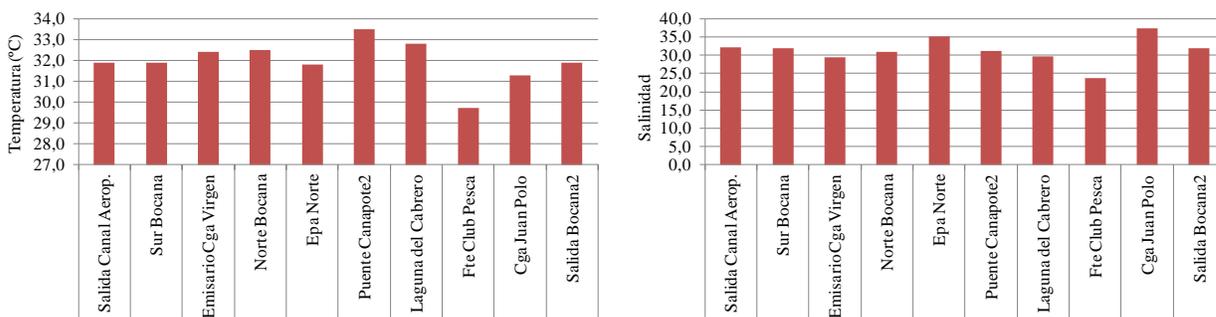


Figura 4.6-12. Comportamiento de la salinidad y temperatura en aguas superficiales de los cuerpos interiores en la Ciénaga de la Virgen, en la época seca de 2011.

La salinidad mostró variaciones entre las estaciones en un rango entre 23,8 y 37,3 evidenciando condiciones de salinización para la ciénaga debidas posiblemente sean a un escaso o nulo aporte e intercambio con agua dulce a través de los caños que a ella drenan (Figura 4.6-12). Los valores de pH se mantienen en un intervalo de variación entre 7,8 y 8,9 unidades, característicos de aguas netamente marinas (7.0 – 8.5; Minsalud, 1984; Cogneti et al., 2001; Figura 4.6-12). La temperatura promedio para este sector es de $32,0 \pm 1,0$ °C en donde muy probablemente prevalecen procesos de evaporación en función de horas de insolación que conllevan a los intervalos de variación observados tanto en la temperatura como la salinidad del agua.

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en la ciénaga estuvieron en el orden de 60-75 mg/L (Figura 4.6-3), con la excepción de la estación del emisario donde se encontró un valor de 123,3 mg/L, mientras que los valores en los canales adyacentes (Puente Canapote y Laguna Cabrero) y su salida frente al Club de Pesca fueron más bajos (26,8, 37,5 y 8,6 mg/L). Los resultados de turbiedad mostraron tendencias parecidas a los SST con un valor mucho más alto en la estación del emisario (37,1 NTU) pero

también en la boca del canal del aeropuerto (33,5 NTU), por otra parte la turbiedad en la ciénaga se midió entre 9,0 y 16,8 NTU, con valores más bajos en los caños adyacentes (3,2 - 7,9 NTU).

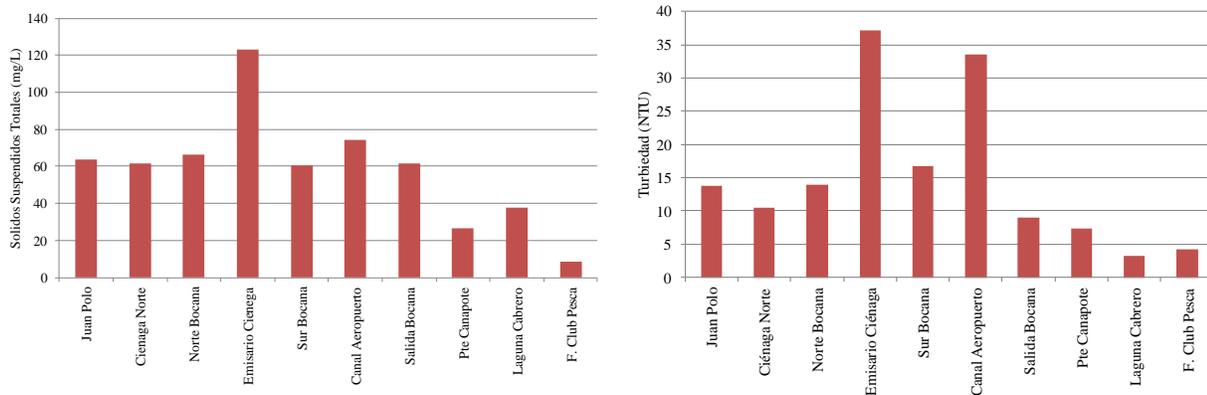


Figura 4.6–13. Comportamiento de sólidos suspendidos totales (mg/L) y turbiedad (NTU) en las aguas superficiales de los cuerpos interiores en la Ciénaga de la Virgen, en la época seca de 2011.

El nitrógeno se midió en las formas de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) que incluye nitrato (NO_3), nitrito (NO_2) y amonio (NH_4) y también como nitrógeno total para que incluya la parte inorgánica junto con la parte orgánica. En cuanto al NID, casi todo del nitrógeno detectado fue en la forma de amonio en la mayoría de estaciones (80-98%), indicando una presencia fuerte de materia orgánica, representada claramente en el resultado de la estación del emisario donde el amonio tuvo una concentración de 306,3 $\mu\text{g/L}$ (Figura 4.6–14a). En la estación cercana, Sur Bocana, el NID tuvo una concentración de 122,2 $\mu\text{g/L}$, mientras que en otras estaciones estuvo debajo de 50 $\mu\text{g/L}$. Sin embargo, estos valores sólo representan un componente pequeño (0,3 – 19,1 %) del nitrógeno total que tuvo concentraciones desde 483 hasta 1639 $\mu\text{g/L}$ en la estación del emisario.

El comportamiento del fósforo reactivo soluble (FRS) fue parecido (Figura 4.6–14b) al nitrógeno, con las concentraciones más altas en el emisario que vierte a la ciénaga (234,3 $\mu\text{g/L}$) y el componente disuelto representó el 46,8% del fósforo total, mientras que en otras estaciones el FRS obtuvo concentraciones entre 5,7 – 76,0 $\mu\text{g/L}$, representando proporciones entre 3,2 – 22,8 % del fósforo total.

En cuanto a los análisis de microbiología las concentraciones oscilaron entre 14×10^3 y 16×10^8 NMP/100 mL de CTT y CTE. Con excepción de la estación denominada Sur de la Pantalla de Bocana, el 100 % de los coliformes encontrados hacen parte del grupo de termotolerantes, cuyo origen es fecal. Lo anterior está relacionado con el hecho que este cuerpo de agua reciba parte de las aguas residuales domésticas del alcantarillado de la ciudad de Cartagena, con caudales que superan los 81.000 $\text{m}^3/\text{día}$ (PNUMA *et al.*, 2009).

Las concentraciones de HDD estuvieron entre 0,9 – 2,2 $\mu\text{g/L}$ en la Ciénaga la Virgen en la época seca de 2011, presentando los valores más altos en las estaciones Sur Bocana (1,8 $\mu\text{g/L}$) y Salida Bocana (1,6 $\mu\text{g/L}$), los cuales están por debajo del valor de referencia de 10 $\mu\text{g/L}$ para aguas contaminadas propuesto (UNESCO 1984). En la estación Norte Bocana, se analizó una muestra para plaguicidas, incluyendo 11 compuestos de organoclorados y 8 compuestos de organofosforados, sin embargo, el único compuesto encontrado en una concentración superior al límite de detección de la técnica analítica utilizada fue el organofosforado, clopirifos, detectado a una concentración de 0,024 $\mu\text{g/L}$, superior al valor de referencia para efectos agudos sobre la vida acuática (0,011 $\mu\text{g/L}$; Buchman, 2008).

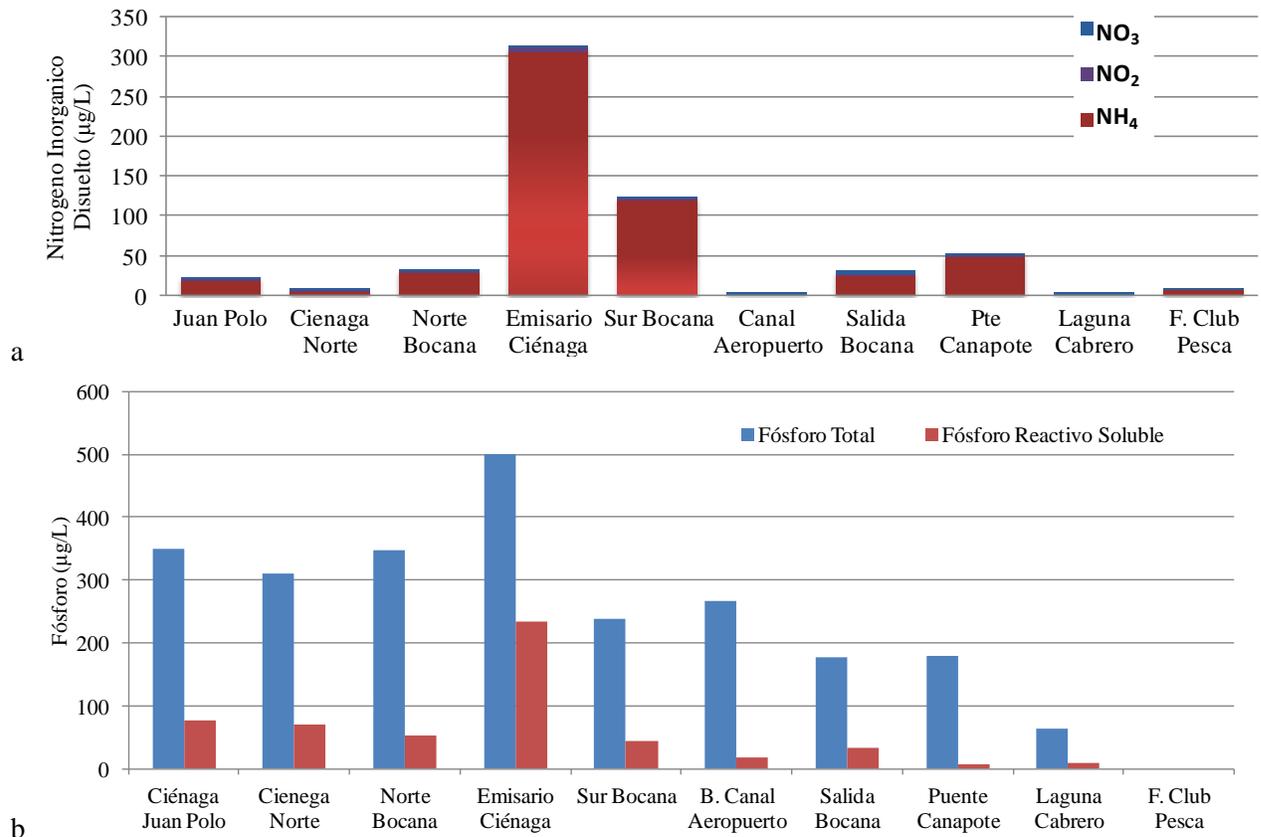


Figura 4.6–14. Comportamiento de (a) nitrógeno inorgánico disuelto (µg/L) en las formas de amonio (NH₄), nitrito (NO₂) y nitrato (NO₃) y (b) fósforo reactivo soluble (FRS) y fósforo total en las aguas superficiales de los cuerpos interiores de la Ciénaga de la Virgen, en la época seca de 2011.

Durante la época seca de 2011 en la Ciénaga de la Virgen se determinaron los metales cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb) en las aguas superficiales de cinco estaciones. En todas las estaciones las concentraciones de Cd y Cr estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada (0,25 y 0,50 µg/L, respectivamente), mientras para el Pb las concentraciones estuvieron en el intervalo de 4,53 a 6,03 µg/L. La mayor concentración se registró en la estación Salida Bocana, no obstante los valores determinados están muy por debajo de los referenciados en guías internacionales como de riesgo (Tabla 4.6-1), por lo que se puede indicar que no se determinó riesgo de contaminación por estos elementos en las aguas superficiales de la Ciénaga de la Virgen durante la época seca de 2011.

Tabla 4.6-1. Concentraciones de metales pesados detectados en aguas de la Ciénaga de la Virgen en la época seca 2011.

| Estación de muestreo | | Cadmio (µg/L) | Cromo (µg/L) | Plomo (µg/L) |
|---|--------------------------------|---------------|--------------|--------------|
| Seca 2011 | Salida Canal del Aeropuerto | <LD | <LD | 5,41 |
| | Sur de la pantalla de Bocana | <LD | <LD | 4,53 |
| | Emisario Ciénaga Virgen | <LD | <LD | 5,89 |
| | Norte de la pantalla de Bocana | <LD | <LD | 5,47 |
| | Salida Bocana | <LD | <LD | 6,30 |
| Referencia para efectos agudos en aguas marinas (Buchman, 2008) | | 40 | | 210 |
| Límite para aguas marinas (CONAMA, 2008) | | | 50 | |

4.6.6 Conclusiones

La calidad fisicoquímica de las aguas costeras del departamento de Bolívar se encuentra afectada por fuentes de contaminación diversas; entre las cuales prevalecen los vertimientos a través del Canal del Dique, la zona industrial Mamonal y residuos domésticos de la ciudad. Esto se refleja en los bajos niveles que registran algunas variables descriptoras de calidad, como oxígeno disuelto cuyos valores encontrados en algunos puntos de muestreo ubicados en el área del Canal del Dique y la Bahía de Barbacoas fueron debajo de la norma colombiana para los propósitos de preservación de flora y fauna.

El canal del Dique es una fuente principal de sólidos y nutrientes a la zona costera de Bolívar, mientras que en la Ciénaga de la Virgen la fuente principal es el emisario. Las concentraciones de sólidos suspendidos en la zona costera fueron más bajas en la época lluviosa que la época seca, pero las concentraciones fueron relativamente bajas en este año por lo general en comparación con años anteriores. Contrariamente, se encontró fósforo en concentraciones más altas durante la época lluviosa que en la época seca. Las concentraciones de los nutrientes nitrógeno y fósforo en el año actual fueron consistentes con años anteriores, y en las islas del Rosario son muy superiores a los valores de referencia reportados para estados de florecimiento permanente de macroalgas frondosas en arrecifes del Caribe, representando un riesgo potencial para la conservación de los corales. Una fuente principal del nitrógeno es la materia orgánica debido a la alta presencia de amonio (80% del NID en la Ciénaga de la Virgen tal como en la zona marina del departamento) que podría deberse a varias actividades humanas como es el alcantarillado.

Con excepción de la estación de playa Bocagrande en la época lluviosa del 2010, las playas localizadas en los sectores de las islas del Rosario, zona norte - Galerazamba y la bahía de Cartagena presentaron condiciones microbiológicas favorables para el desarrollo de actividades recreativas de acuerdo con la legislación nacional. En contraste, la Ciénaga de la Virgen durante la época seca del 2011 presentó altas concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal ($>10^3$ NMP/100 mL), producto de las descargas de aguas residuales de la ciudad.

En la actualidad las concentraciones de HDD en aguas son muy inferiores al valor de referencia (<10 $\mu\text{g/L}$) para aguas contaminadas. Los resultados de este año también muestran una concentración alta del plaguicida clorpirifos (0,024 $\mu\text{g/L}$) en la estación Norte Bocana de la Ciénaga de la Virgen.

En el análisis de metales pesados en aguas superficiales del departamento Bolívar muestra una tendencia de la concentración de los metales analizados aumentar a partir del 2003, lo cual es de interés, ya que se han registrado datos que sobrepasan valores indicados como de riesgo por normas internacionales, por lo cual se plantea la necesidad de realizar monitoreo en sedimentos especialmente en el sector de la bahía de Cartagena. En la ciénaga de la Virgen se determinaron concentraciones muy por debajo de los valores referenciados como de riesgo en guías internacionales y no se evidencia riesgo de contaminación por Cd, Cr y Pb en las aguas superficiales de la ciénaga durante la época seca de 2011.

Sucre



Centro Golfo de Morrosquillo. Foto: Paola Bautista

4.7 SUCRE

El departamento de Sucre se encuentra ubicado al norte del territorio Nacional, entre el río Cauca y el Mar Caribe. La extensión total es de 10.350,66 km², de las cuales 10.280,55 km² corresponden al área urbana y 70,11 km² al área rural. Limita con los departamentos de Córdoba (oeste y sur) y Bolívar (norte, este y sur) y con el Mar Caribe (oeste), la red de 30 estaciones que se evalúan dentro de la REDCAM van desde la zona Norte cerca a Barbacoas en el límite con el departamento de Bolívar, las islas de San Bernardo y el Golfo de Morrosquillo hasta Coveñas con tipos de aguas estuarinas, marinas y fluviales como los caños y arroyos intermitentes que drenan a la zona costera (Figura 4.7-1).

El departamento de Sucre presenta gran influencia por la presencia de aguas continentales que provienen de zonas como los caños Francés, Guainí, Alegría y los arroyos Pechelín, Amanzaguapo y Villeros, que traen consigo material terrigénico, aguas servidas y que afectan directamente la calidad de las aguas marino-costeras, debido al aumento en las concentraciones de nutrientes, sólidos suspendidos totales, junto a los contaminantes tanto microbiológicos como orgánicos. La detección de metales pesados a través del tiempo a disminuido significativamente, sin embargo, su monitoreo constante al igual que los otros indicadores, permite mantener un registro histórico del departamento y como se ve influenciado por los episodios climáticos, junto a fenómenos como “La Niña” que afecto la época de lluvia del 2010 y parte de la época seca del 2011.

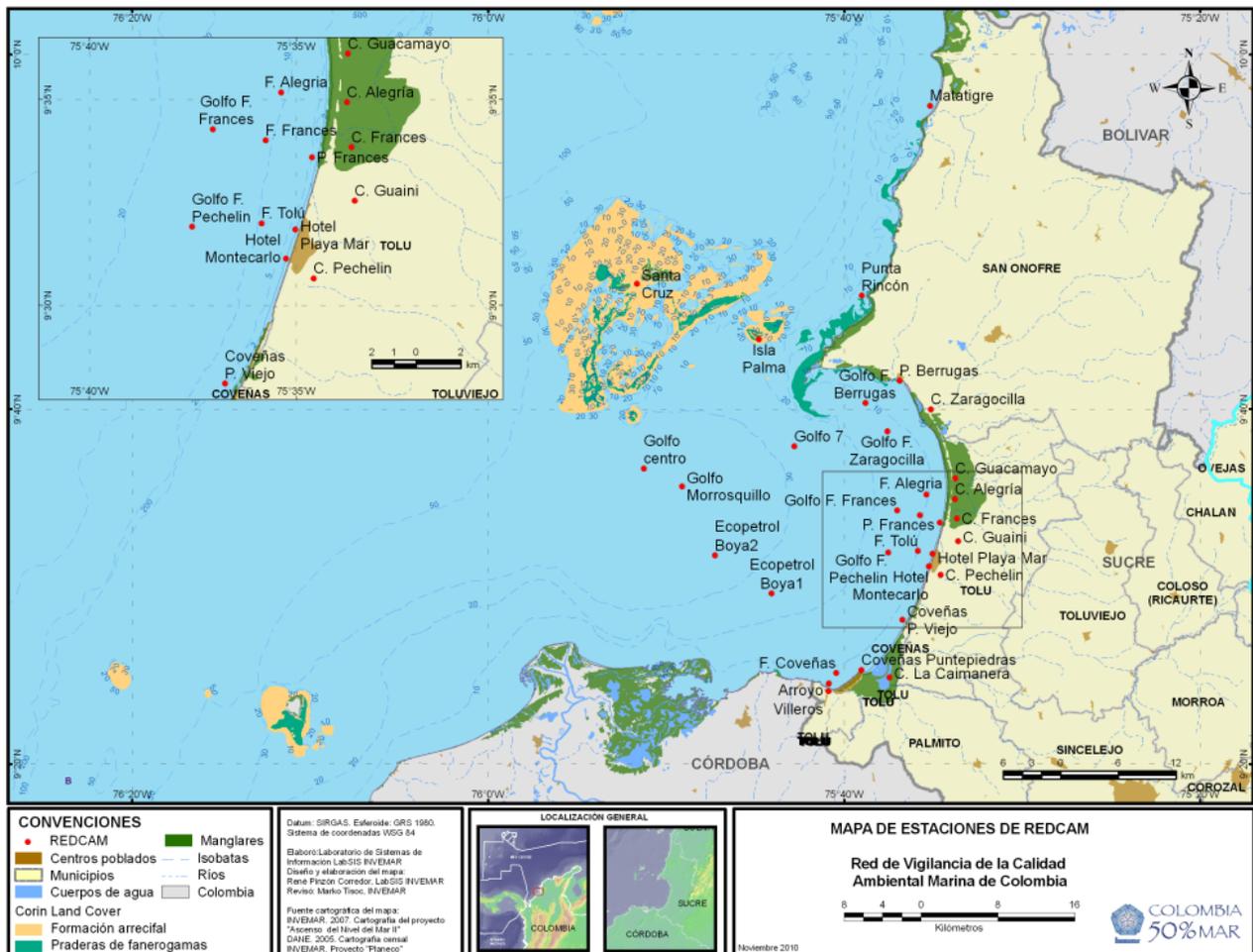


Figura 4.7-1. Estaciones de muestreo en el departamento de Sucre

4.7.1 Variables Fisicoquímicas

4.7.1.1 *In situ*

La calidad fisicoquímica de las aguas costeras del departamento de Sucre se encuentra afectada por fuentes puntuales de contaminación, dentro de las cuales se encuentran principalmente los vertimientos de aguas residuales, la actividad portuaria y el transporte marítimo, la agricultura y la industria camaronera desarrollada en la región. Paralelamente las escorrentías del río Sinú tienen gran influencia ya que actúan como vía de entrada de contaminantes desde la cuenca alta, particularmente de zonas agrícolas y ganaderas (Vivas-Aguas *et al.*, 2010).

Durante las épocas climáticas de lluvias 2010 y seca 2011, la concentración de oxígeno disuelto (OD) para la única estación de ríos (Arroyo Villeros) alcanzó el valor más bajo reportado para la época seca con una concentración de 0,21 mg/L (INVEMAR, 2011). Este resultado junto con las bajas concentración en el caño Francés (0,55 mg/L) indican condiciones anóxicas del lugar, atribuidas a procesos de degradación de material orgánico (Figura 4.7-2).

En aguas estuarinas y marinas las concentraciones de OD presentaron un descenso en la época seca 2011, principalmente en las estaciones ubicadas sobre los caños que drenan al mar; sin embargo, estaciones estuarinas como playa Francés, Coveñas-Coquerita, playa Tolú – Hotel Montecarlo, el OD aumentó, mientras que, en estaciones marinas como Coveñas Puerto Viejo, playa Berrugas-Frente Tolú el OD se mantuvo en el mismo orden de magnitud durante las dos épocas. Los resultados se compararon en el valor límite nacional para preservación de flora y fauna de 4,0 mg/L para el OD en aguas (Minsalud, 1984).

La estación Arroyo Villeros se incluyó a partir del 2009, por recomendación de la Corporación CARSUCRE, los valores de OD que se registraron se encuentran por debajo del límite permisible para fauna y flora con excepción de la época lluviosa del 2010 con un valor de 5,83 mg/L. Esta estación se considera con una calidad inapropiada de agua según la legislación nacional (Minsalud, 1984).

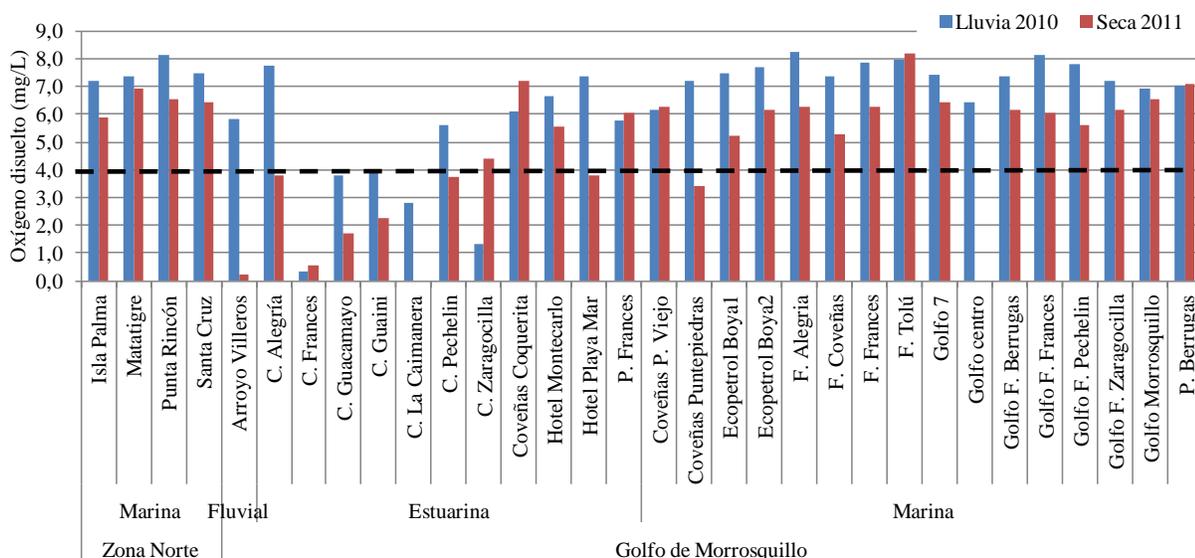


Figura 4.7-2. Comportamiento del oxígeno disuelto (mg/L) en aguas superficiales del departamento de Sucre, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011. La línea punteada representa el límite de 4 mg/L para preservación de flora y fauna (Minsalud, 1984).

El pH no presentó variaciones entre épocas de muestreo y fluctuó entre 6,62 y 7,80 para aguas fluviales, en aguas estuarinas entre 6,86 y 8,53, y en las aguas marinas los valores reportados cumplen con la legislación (6,5 a 8,5, Minsalud, 1984) y no presentan tendencias temporales. Los valores promedios de salinidad que se reportaron para la época seca en los tres tipos de agua (fluvial: $27,2 \pm 19,0$; estuarina: $22,2 \pm 13,1$ y marina: $32,8 \pm 1,35$) fueron superiores en cuanto a los de la época de lluvia. En las aguas estuarinas se observaron los mayores cambios y aumentos de salinidad en época seca, especialmente en las estaciones de Coveñas Coquerita (lluvia: 10,6; seca: 31,8), caño Francés (lluvia: 16,2; seca: 31,8) y caño Guacamayo (lluvia: 8,4; seca: 18,3) (Figura 4.7-3).

El comportamiento de la salinidad en las aguas costeras del departamento de Sucre es el reflejo de cambios hidrológicos ocurridos durante las épocas de muestreo. Factores hidrodinámicos como cambios en los patrones de circulación de las aguas debidos a régimen de mareas y las descargas de caños al mar durante las lluvias, también influyen en la distribución de la salinidad en aguas costeras del departamento. Con respecto al comportamiento histórico de la salinidad, los mayores cambios se presentaron en aguas estuarinas, donde el promedio mayor se observó en la época seca de 2011 ($22,2 \pm 13,1$) y el menor en época seca de 2006 ($7,7 \pm 8,7$). Paralelamente, el promedio de salinidad para la época lluviosa 2010 ($13,7 \pm 10,2$) fue mayor que los del 2004 ($3,4 \pm 5,8$) y 2008 ($3,9 \pm 8,9$), siendo estos últimos, los más bajos durante los 11 años de monitoreo.

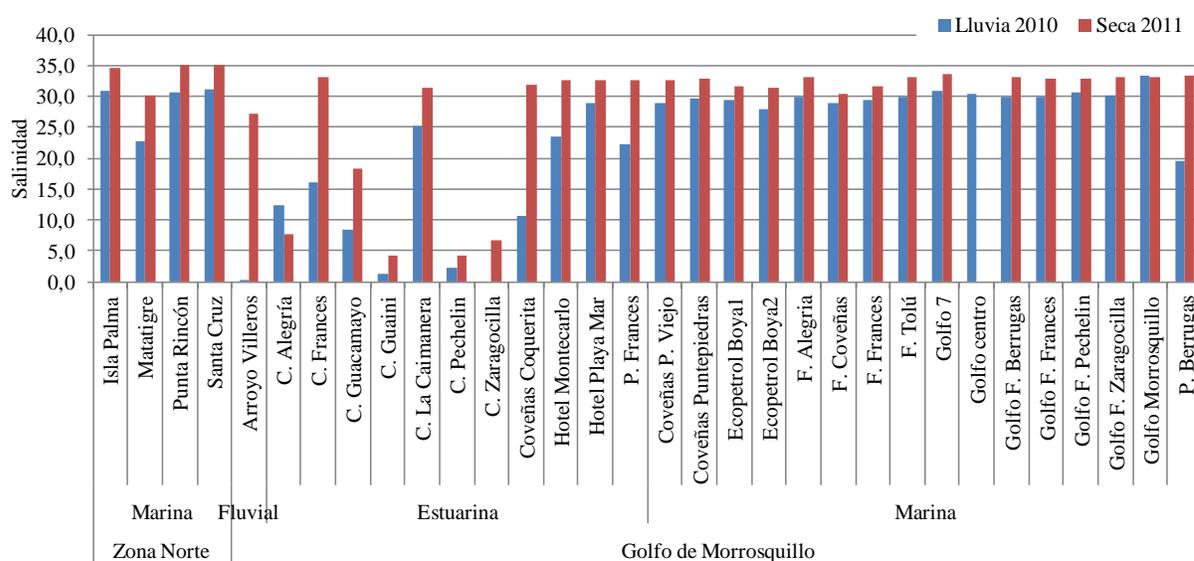


Figura 4.7-3 Comportamiento de la salinidad en aguas superficiales de la zona costera del departamento Sucre, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011

La temperatura superficial de las aguas osciló entre 26,1 y 32,8°C para la época lluviosa 2010 y entre 23,1 y 33,8 °C durante la época seca 2011. Al igual que la salinidad, en aguas estuarinas se observó cambios en las estaciones del arroyo Pechelín, y caños Alegría y Guaní, en donde la temperatura se incrementó entre 3,0 y 6,0 °C desde la época lluviosa 2010 hacia la época seca 2011. Estas variaciones dependen de la absorción de calor recibido desde el exterior y, de las que a diario experimentan los cuerpos de agua superficial, dependientes de las condiciones meteorológicas locales siendo mayores en temporadas de cielo limpio y sin viento, disminuyendo cuando éste sopla y existe nubosidad (Cifuentes *et al.*, 2009). En el caso de aguas marinas, pequeñas variaciones de temperatura pueden ser perjudiciales sobre todo en áreas de corales, debido a la sensibilidad que estos presentan, exponiéndolos a degradación por el efecto de blanqueamiento cuando las temperaturas superan los 30°C (Vega-Sequeda *et al.*, 2011; Hoegh-Guldberg, 1999). En las estaciones coralinas de Islote Santa Cruz e Isla Palma, se observó temperaturas

superiores al valor de referencia de 30°C en ambas épocas, particularmente en la época seca cuando alcanzaron temperaturas de 35°C, incidiendo en estrés sobre la proliferación de estos ecosistemas.

4.7.1.2 **Sólidos y Nutrientes**

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) a nivel del agua superficial para las épocas lluviosa 2010 y seca 2011 del departamento de Sucre se presentan en la Figura 4.7-4. Los valores de la época lluviosa son más altos que la época seca en la mayoría de estaciones, pero la diferencia entre las épocas no fue significativa ($p > 0,05$) para todas las estaciones. Los mayores valores de SST se registraron para el arroyo Pechelín con 735 mg/L y la estación Hotel Montecarlo con 365 mg/L, mientras que, el menor se presentó en la época seca en Golfo frente a Pechelín con 9,3 mg/L. Estas estaciones se encuentran adyacente a los centros poblados del departamento (Figura 4.7-1) que pueden aportar sólidos a la zona costera a través de descargas puntuales de aguas residuales domésticas. Las concentraciones de SST en las áreas coralinas de Isla San Bernardo Palma e Islote Santa Cruz de los Pescadores se encuentran dentro del valor de referencia para perturbación a la reproducción de corales (50 mg/L; [Fabricius, 2005](#)). Las magnitudes de SST reportadas y tendencias espaciales identificadas en el año actual son consistentes con los datos históricos del departamento ([INVEMAR 2011](#)).

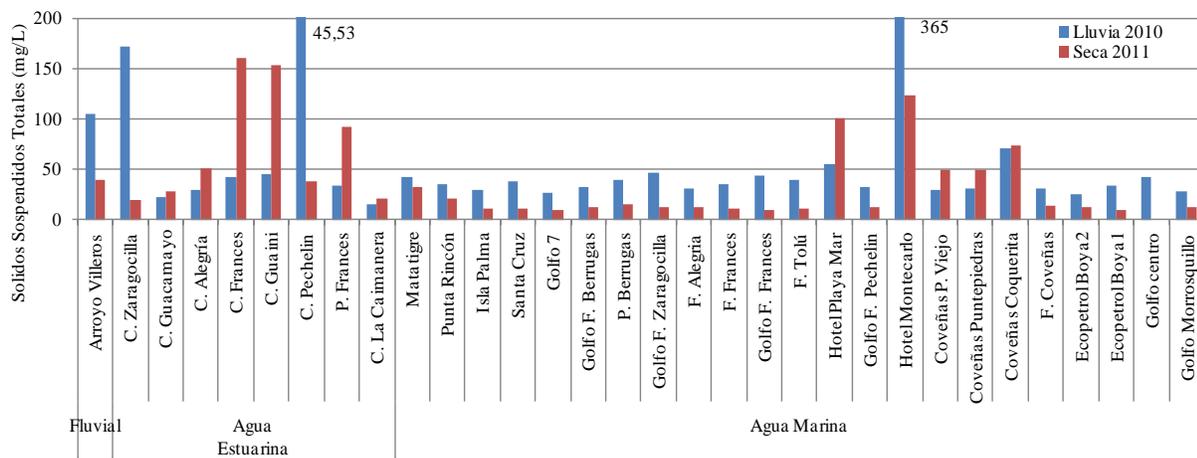


Figura 4.7-4 Concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) en aguas superficiales del departamento de Sucre, en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

En cuanto a la turbidez, los valores fueron generalmente bajos, en el rango de 0,5 – 12,5 NTU, con la excepción de las siguientes estaciones en la época lluviosa: caño Zaragocilla (232 NTU), arroyo Pechelin (267 NTU), arroyo Villeros (78,2 NTU), Hotel Montecarlo (38,2 NTU) y Coveñas Coqueritas (37,6 NTU). Los valores altos de turbidez en estas estaciones pueden estar relacionados al arrastre de sedimento que traen los caños y a los vertimientos puntuales realizados por la población cercana. Varias estaciones tuvieron valores más altos en la época lluviosa, pero la diferencia entre datos de las dos épocas climáticas no fue significativa ($p > 0,05$). El muestreo de 2010-2011 incluye los primeros análisis de turbidez del departamento de Sucre.

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), en términos de nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) y amonio (NH_4), mostraron variaciones temporales y espaciales (Figura 4.7-5). Las mayores concentraciones se reportaron durante la época seca en estaciones como Caño Guaini, Coveñas Coqueritas y Ecopetrol Boya 2. Entre los tipos de aguas, las estaciones estuarinas al igual que los ríos tuvieron las concentraciones más altas con algunas entre 100 – 637 $\mu\text{g/L}$, sin embargo, algunas estaciones marinas

como Coveñas Coqueritas con concentraciones de 329 $\mu\text{g/L}$, también mostraron altos niveles de NID. Durante la época de lluvia la forma de NO_3 es la más frecuente, mientras que en la época seca fue más prevalente el NH_4 . Aunque NO_3 puede deberse a varias fuentes de nitrógeno, altas concentraciones de NH_4 indican fuentes de materia orgánica, que pueden relacionarse con la presencia de aguas residuales domesticas, las altas concentraciones de NH_4 durante la época seca sugiere descargas directas al mar que pueden ser llevadas por los caños de la zona. El análisis de los datos históricos (Figura 4.7-6) muestran que los ríos han generados las concentraciones más altas de NID históricamente, pero no se encuentra alguna tendencia temporal a través de los años al respecto del flujo de NID (INVEMAR, 2011).

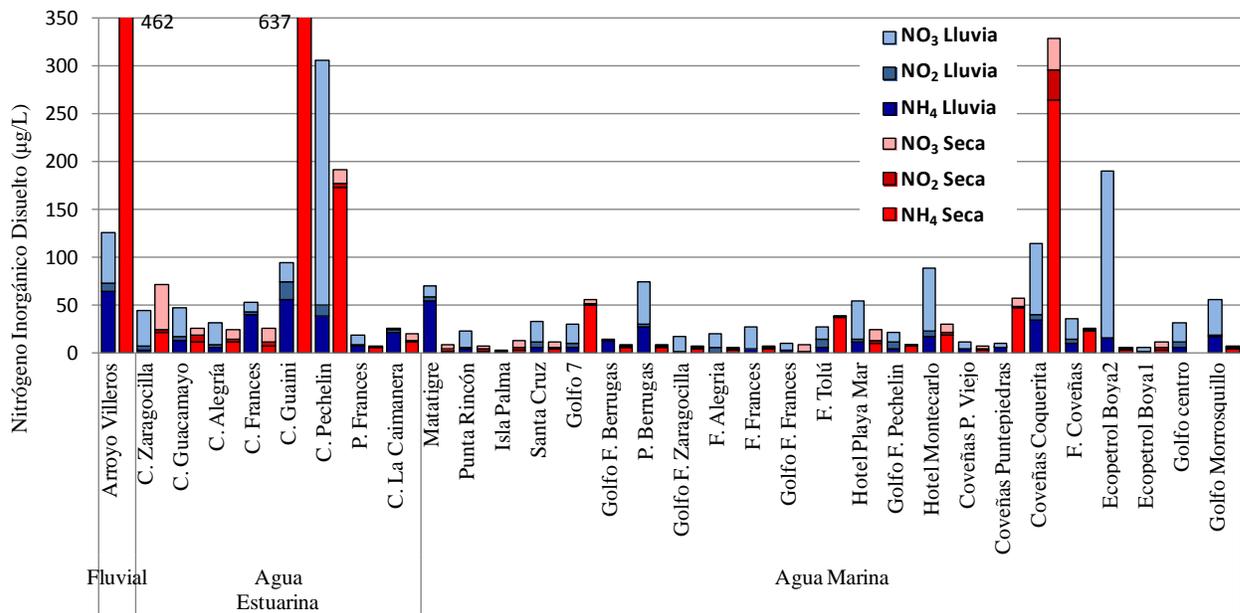


Figura 4.7-5 Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto ($\mu\text{g/L}$) en las formas de amonio (NH_4), nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3) en aguas superficiales del departamento de Sucre, en la época lluviosa 2010 y seca 2011.

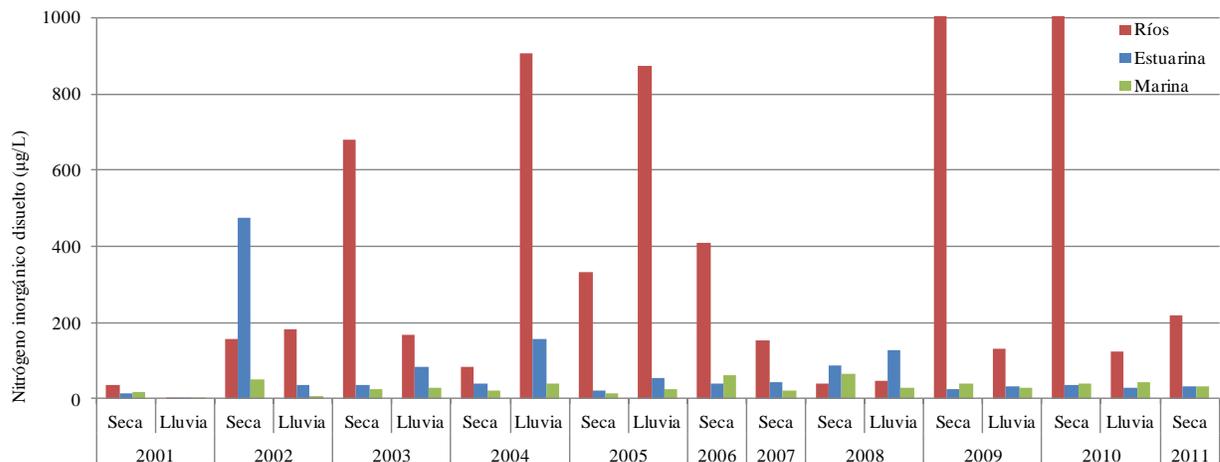


Figura 4.7-6 Concentraciones promedio de nitrógeno inorgánico disuelto ($\mu\text{g/L}$) en aguas superficiales del departamento de Sucre, en la época lluviosa 2010 y seca 2011.

Las concentraciones de NID en las estaciones de Isla San Bernardo Palma e Isote Santa Cruz de los Pescadores, cercanas a zonas coralinas se encontraron dentro del valor de referencia (14,0 µg/L) reportado para estados de florecimiento permanente de macroalgas frondosas en arrecifes del Caribe (Lapointe 1997) e impactos potenciales a la fisiología de corales (Fabricius, 2005), con la excepción de Isote Santa Cruz durante la época lluviosa que presentó una concentración de NID de 33.0 µg/L (Figura 4.7-5). A nivel histórico el 40% de los registros se consideran de riesgo por superar el valor de referencia para la conservación de corales (INVEMAR, 2011).

Las concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS) en las aguas superficiales del departamento no mostraron una diferencia entre las épocas climáticas consistente en todas las estaciones (Figura 4.7-7). La mayor concentración se presentó en aguas estuarinas durante la época seca (Caño Frances: 417 µg/L) mientras que varias estaciones marinas fueron en un rango bajo de 0-20 µg/L. Estas diferencias entre los tipos de agua sugieren que las fuentes principales de FRS pueden provenir de los arrastres terrigénicos que traen consigo los caños del sector. A pesar de encontrar valores generalmente bajos en las aguas marinas, los mayores registros se presentan en estaciones que presentan las mayores concentraciones de población civil como Hotel Montecarlo, Hotel Playa Mar y Coveñas Coquerita, mostrando el efecto que ejerce las actividades antropogénicas sobre las concentraciones de fósforo en el mar.

En las áreas coralinas de Isla San Bernardo Palma e Isote Santa Cruz de los Pescadores, las concentraciones de FRS estuvieron dentro del valor de referencia (3,1 µg/L) reportado para estados de florecimiento permanente de macroalgas frondosas en arrecifes del Caribe (Lapointe 1997), aunque la concentración de FRS en Isote Santa Cruz durante la época seca fue de 14.6 µg/L (Figura 4.7-7), se encuentra dentro de los rangos permisibles para no afectar la fisiología de los corales (62,0 µg/L; Fabricius 2005). El 53% de los registros en las estaciones coralinas superan el valor de referencia de 3,1 µg/L, por tanto, se puede considerar como un factor de riesgo para el desarrollo del ecosistema (INVEMAR, 2011).

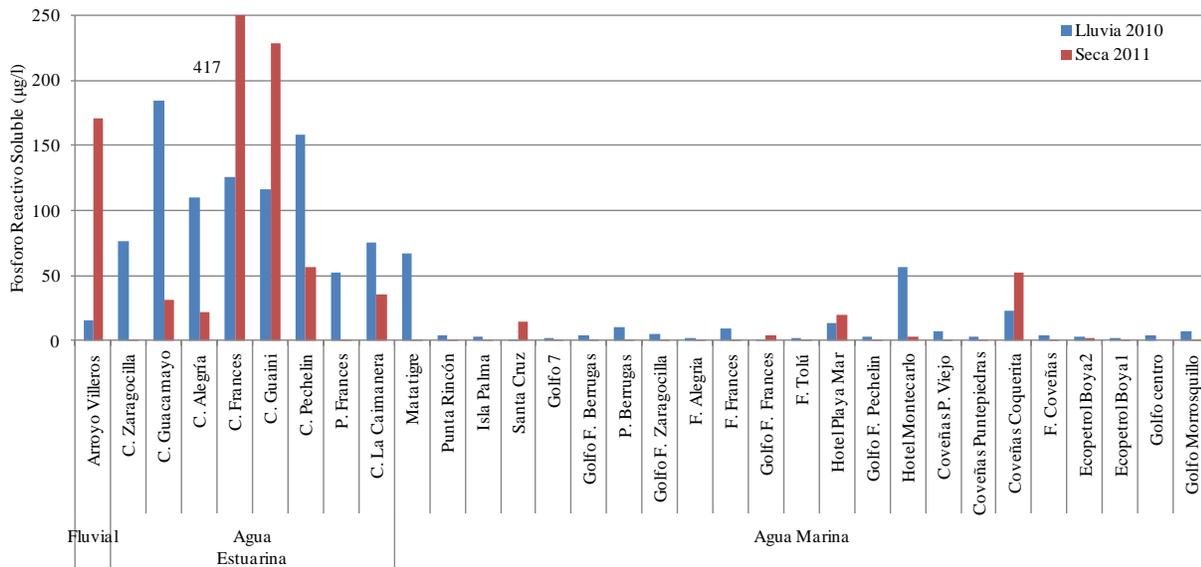


Figura 4.7-7. Concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS, µg/L) medidos en aguas superficiales de Sucre en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

4.7.2 Contaminación Microbiológica

Durante la época de lluvias del 2010 y seca del 2011, las concentraciones microbianas variaron en función de la época climática y el tipo de agua, de tal manera que las aguas fluviales y estuarinas se comportaron como un grupo diferente en sus características microbiológicas a las aguas marinas. En el primer grupo, las concentraciones de coliformes totales (CTT) fluctuaron entre 27- 140.000 NMP/ 100 mL y las de coliformes termotolerantes (CTE) entre 18-92.000 NMP/ 100 mL, sin observarse diferencias entre épocas ($p > 0,05$). En las aguas marinas los CTT y CTE oscilaron en un rango menor, entre 13 – 16.000 NMP/100 mL, pero se evidenciaron niveles significativamente superiores en la época de lluvias tanto para CTT (t : 2,274; p : 0,0036), como para CTE (t : 3,099; p : 0,0065). El incremento en las concentraciones de coliformes fue hasta 10 veces más en la temporada de lluvias con respecto a la época seca, posiblemente por el proceso de arrastre de microorganismos desde la parte continental y por el desbordamiento de los sistemas de alcantarillado que se presentan en esta época del año en el departamento (Coulliete y Noble, 2008).

En este departamento, el uso de los cuerpos de agua con fines recreativos es frecuente. Se encontró que todas las playas evaluadas presentaron condiciones de riesgo para los bañistas por sobrepasar al menos uno de los indicadores de contaminación fecal en alguna de las temporadas (Tabla 4.7-1). En la época de lluvias del 2010, el deterioro estuvo asociado a la presencia de ambos grupos indicadores, CTE y enterococos fecales (EFE). Mientras que en la época seca, estuvo principalmente asociado al exceso de CTE. La diferencia en las condiciones está dada por las características de los indicadores microbianos, puesto que se ha demostrado que los EFE tienen una fuerte asociación positiva con las precipitaciones y mayor tolerancia a cambios ambientales (Lévesque y Gauvin, 2007)

Tabla 4.7-1. Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las playas de Sucre en la época lluviosa del 2010 y seca del 2011. Los valores en negrilla son aquellos que sobrepasan los límites de referencia establecidos por la legislación nacional para Coliformes termotolerantes (< 200 NMP/ 100 mL; MINSALUD, 1984) y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud para Enterococos (< 40 UFC/ 100 mL;OMS, 2003) en aguas recreacionales.

| Sector | Estación | Enterococos (UFC/100 mL) | | C. termotolerantes (NMP/100 mL) | |
|---------------------------------------|---------------------|---------------------------|------------|---------------------------------|-------------|
| | | Lluvias 2010 | Seca 2011 | Lluvias 2010 | Seca 2011 |
| Coveñas | Coveñas Coquerita | 2550 | 100 | 17000 | 3300 |
| | Coveñas P. Viejo | 6 | 1 | 130 | 1300 |
| | Coveñas Puntepedras | 6 | 15 | 40 | 240 |
| Tolú | Hotel Montecarlo | 334 | 10 | 3800 | 490 |
| | Hotel Playa Mar | 65 | 11 | 1005 | 110 |
| | P. Frances | 64 | 3 | 280 | 350 |
| Zona Norte – Punta San Bernardo | Isla Palma | 0 | 1 | 240 | 22 |
| | P. Berrugas | 92 | 2 | 16000 | 20 |
| | Punta Rincón | 6 | 23 | 490 | 330 |

La zona de mayor riesgo debido a la recurrencia de los eventos y las estaciones afectadas es Tolú, seguida por la Zona de Coveñas donde se presentaron los valores más altos de CTE y EFE en aguas recreativas. Las playas ubicadas en Tolú son influenciadas por las descargas de un conjunto de arroyos y por la baja cobertura del sistema de alcantarillado en este municipio (Troncoso *et al.*, 2009). En tanto que las playas de la zona de Coveñas, especialmente en el caso de Coveñas Coquerita, está influenciada por el Arroyo Villeros que trae consigo las descargas de aguas residuales de las poblaciones ubicadas a lo largo de su

cuenca, vertiendo a la zona marina en este periodo concentraciones de CTT hasta de 3.500.000 NMP /100 mL y de CTE de 130.000 NMP CTE/100 mL. Históricamente en ambas zonas se han presentado de manera recurrente condiciones de riesgo sanitario, donde el mayor porcentaje de registro se encuentra en Coveñas coquerita (94%), seguido por la Playa del Hotel Montecarlo (72%) y Hotel Playa Mar (67%), Coveñas Puente piedras (44%) y Puerto Viejo (39%), y por último el sector de Playa Frances (33%). Cabe destacar que en este periodo, la estación de playa Berrugas registró el segundo valor más alto de coliformes desde el año 2002.

4.7.3 Hidrocarburos

En la época de lluvias de 2010 se presentaron precipitaciones entre el 10 – 40% por encima del promedio para esta región debido al fenómeno de La Niña ([IDEAM, 2010](#)), se registraron los valores históricos más altos de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD en el departamento de Sucre, especialmente en las estaciones ubicadas en el caño Francés (392,41 µg/L) y Arroyo Pechelin (15,04 µg/L), Coveñas Coquerita (59,82 µg/L) y las estaciones del Golfo de Morrosquillo, Golfo 7 (13,53 µg/L) y Frente a Berrugas (17,01µg/L). Mientras que en la época seca del 2011, que también estuvo influenciada por el fenómeno de La Niña, se observaron incrementos en las precipitaciones > 70% al promedio histórico de la época ([IDEAM, 2011](#)), los valores más altos se registraron en las estaciones caño Zaragocilla (193 µg/L), junto al Hotel Montecarlo (30,10 µg/L), Hotel Playa Mar (17,10 µg/L) y de nuevo en el caño Francés (52,70 µg/L) y Arroyo Pechelin (188,00 µg/L), Coveñas Coquerita (16,50 µg/L). Estas concentraciones posiblemente se deben a la actividad portuaria de transporte de petróleo, transporte marítimo, turismo y aguas servidas de los municipios de Tolú y Coveñas, los cuales superan el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas propuesto por la [UNESCO \(1984; Figura 4.7-8\)](#).

El análisis de HDD en este departamento se inicio en el 2001 hasta la actualidad, las estaciones ubicadas en las boyas de Ecopetrol, los caños Guaini, Frances y Pechelin y la estación Golfo de Morrosquillo 7 presentaron un rango de concentraciones de HDD entre 2,05 – 392,41 µg/L. Estas estaciones se consideran como aquellas que hacen los mayores aportes de este contaminante, ya que, constantemente presentan concentraciones por encima del valor de referencia de 10 µg/L de [UNESCO \(1984\)](#), casos como el Arroyo Pechelín con 38,17 µg/L, en la época de seca de 2010, Boya de Ecopetrol TLU1 con 45,58 µg/L y TLU2 con 21,82 µg/L (Figura 4.7-9). Desde de 2001 hasta el 2008, las concentraciones de HDD detectadas en aguas superficiales han estado por debajo del valor de referencia para aguas contaminadas, después de esta fecha en el departamento se han registrado concentraciones por encima del valor de referencia especialmente en los caños que llegan a la zona costera, las boyas de Ecopetrol y las playas ubicadas en Tolú y Coveñas Coquerita.

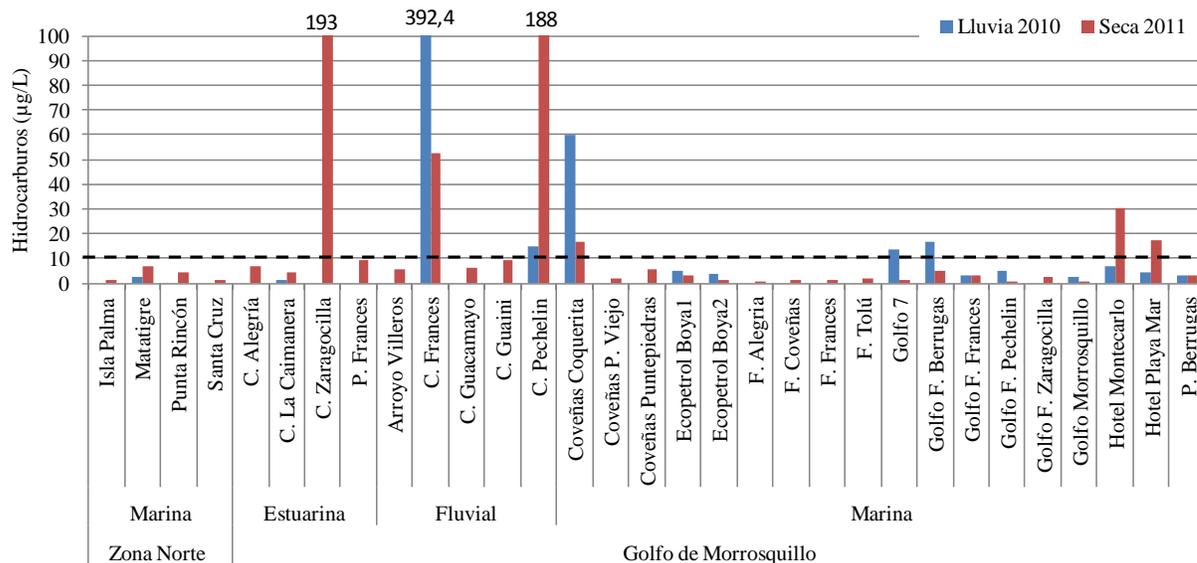


Figura 4.7-8. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) medidos en aguas superficiales de Sucre, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011. La línea punteada representa el valor de referencia propuestos de 10 µg/L por la Unesco (1984) para aguas contaminadas.

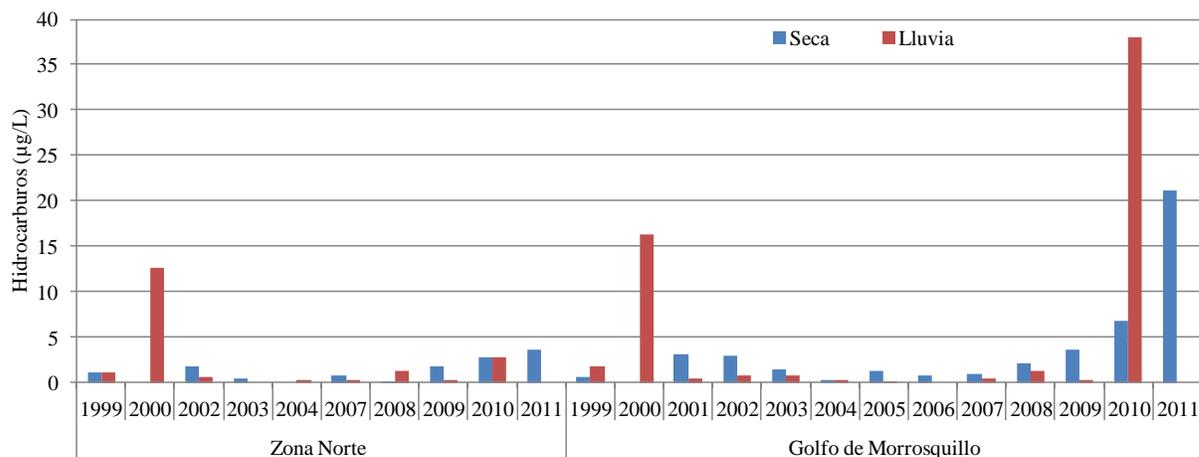


Figura 4.7-9. Promedios históricos de hidrocarburos medidos en aguas superficiales de Sucre, entre 2001-2011.

4.7.4 Metales Pesados

En el departamento de Sucre los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) analizados en la época de lluvias de 2010 y la época seca de 2011, estuvieron por debajo de los niveles de riesgo para efectos agudos en aguas marinas referenciados en guías internacionales (Pb: 210 µg/L, Cd: 40 µg/L, Buchman, 2008 y Cr 50 µg/L, Conama, 1986). En general el Pb ha presentado las mayores concentraciones (2,76 ± 0,88 y 2,80 ± 1,71 µg/L en la época de lluvias y seca, respectivamente) entre los elementos analizados, especialmente en las estaciones frente caño Alegria (3,33 µg/L) y arroyo Matatigre (3,26 µg/L) en la época de lluvias de 2010 y en las estaciones Coveñas Coquerita (4,38 µg/L) y centro golfo de Morrosquillo (4,65 µg/L) en la época seca de 2011, pero no hay una tendencia espacial o temporal en los resultados (Figura 4.7-10).

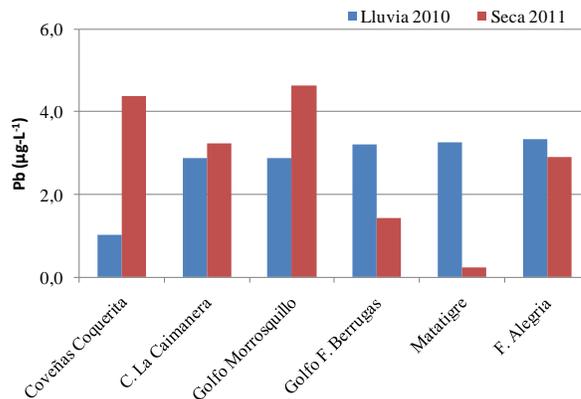


Figura 4.7-10 Concentraciones de plomo (Pb, µg/L) medidas en aguas superficiales del departamento de Sucre, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

En el periodo de la época de lluvias de 2010 y época seca de 2011 la concentración de cadmio (Cd) en todas las estaciones estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada. En cuanto a el cromo (Cr) solo se detectaron concentraciones en la Ciénaga la Caimanera (0,74 µg/L) y Coveñas Coquerita (0,99 µg/L) durante la época de lluvias de 2010, para las demás estaciones y en la época de seca de 2011 todas estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada, lo cual indica un bajo riesgo para el ambiente marino costero por este tipo de contaminantes.

En el análisis histórico de estos elementos (2001 - 2011), las mayores concentraciones de Pb y Cd se registraron en el año 2001 y en la época seca de 2002. El plomo ha mostrado una clara tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo, las mayores concentraciones promedio ($40,86 \pm 9,48$ y $59,20 \pm 9,11$ µg/L) se registraron en las en la época de lluvias de 2001 y la época seca de 2002, en general se evidencia una tendencia a disminuir en la concentración promedio de este elemento en las aguas costeras del departamento de Sucre (Figura 4.7-11), sin embargo durante el monitoreo no se han registrado valores que rebasen el nivel de riesgo para este elemento (210 µg/L, [Buchman, 2008](#)). Por otra parte las mayores concentraciones promedio de Cd se registraron en la época seca de 2001 y 2002 ($2,24 \pm 0,58$ y $2,34 \pm 0,30$ µg/L, respectivamente), sin embargo no se han registrado concentraciones que superen el valor permisible reportado por guías internacionales para efectos agudos en aguas marinas superficiales (40 µg/L, [Buchman, 2008](#)), en general las concentraciones de este elemento han mostrado una tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo, a partir de 2008 la mayoría de estaciones presentan niveles por debajo del límite de detección.

En cuanto al Cr, a nivel histórico se evidencia que las concentraciones reportadas no presentaron una tendencia marcada a lo largo del monitoreo, las mayores concentraciones se registraron en la época de lluvias de 2003 y 2004 ($1,23 \pm 0,85$ y $1,27 \pm 0,99$ µg/L, respectivamente), no obstante estas concentraciones están muy por debajo de los valores de riesgo referenciado en normatividad internacional (50 µg/L, [Conama, 1986](#)), no se evidencian problemas de contaminación por este elemento en las aguas costeras del departamento de Sucre.

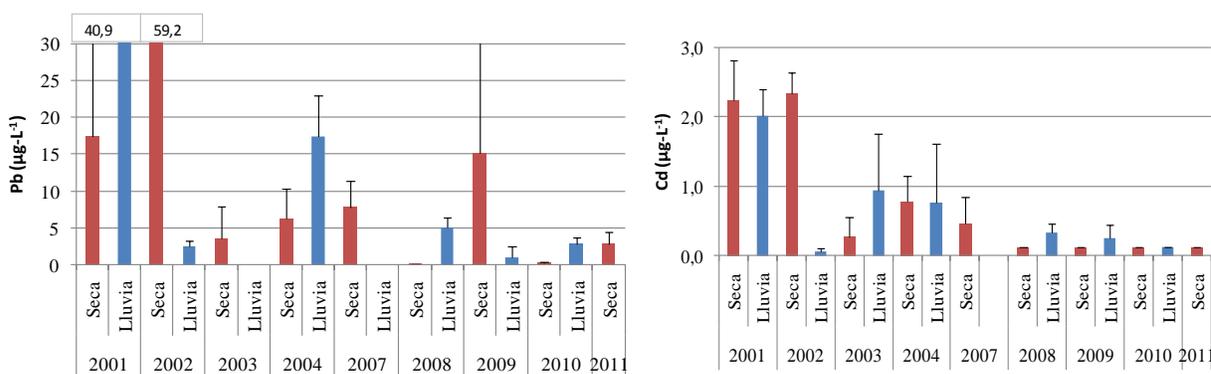


Figura 4.7-11 Comportamiento histórico de la concentración promedio de plomo (Pb, µg/L) y cadmio (Cd, µg/L) medidas en aguas superficiales del departamento de Sucre, en las épocas climáticas lluvias y seca.

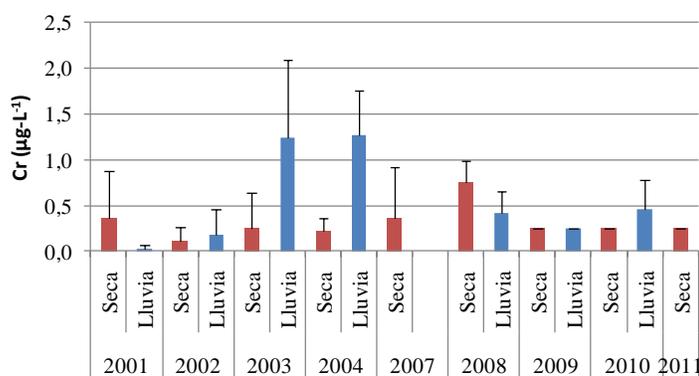


Figura 4.7-12 Comportamiento histórico de la concentración promedio de cromo (Cr, µg/L) medidas en aguas superficiales del departamento de Sucre, en las épocas climáticas lluvias y seca.

4.7.5 Conclusiones

Las concentraciones de oxígeno disuelto reportadas para el departamento se vieron afectadas por los episodios climáticos donde los mayores registros ocurrieron en época de lluvia y disminuyeron en la época seca. Las estaciones de arroyo Villeros y caño Francés presentaron los menores registros de oxígeno disuelto, mientras un total de 10 estaciones tuvieron niveles de oxígeno disuelto debajo del valor mínimo permisible establecido por la legislación Colombiana para efectos de uso para la preservación de la fauna y flora. Por otro lado los cambios en la salinidad se observan con la entrada de aguas continentales a las estaciones, en época de lluvias los valores de salinidad descienden con respecto a los que se registran en cecas, sin embargo, estaciones como Centro Golfo de Morrosquillo que se encuentran alejadas de la línea de costa no presentan cambios en los valores reportados. Altas temperaturas encontradas en las islas de San Bernardo muestran impactos potenciales a los arrecifes de corales.

Los aportes de sedimentos y nutrientes son realizados en su mayoría por las estaciones estuarinas y los ríos del departamento, es el caso de las altas concentraciones de amonio que se registraron que pueden provenir de fuentes de materia orgánica, como las aguas residuales domesticas, descargan directas al mar o a los caños que drenan al mar. El impacto potencial de los sedimentos sobre los ecosistemas coralinos cercanos a las Islas de San Bernardo fue mínimo, sin embargo, los datos históricos reflejan la entrada constante de nutrientes a la zona que puede llegar a afectar el ecosistema.

En cuanto a la calidad microbiológica todas las playas evaluadas presentaron riesgos sanitarios para los bañistas. En la época de lluvias el mayor riesgo se concentro en la zona de Tolú y Zona Norte- San Bernardo; mientras que en la época seca el mayor riesgo se encontró en la zona de Coveñas.

En época de lluvias de 2010 el 26,6% y en la seca del 2011 el 19,3% de las estaciones monitoreadas para HDD, sobrepasaron el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas en las playas de Coveñas y Tolú y los caños que desembocan en el municipio de Tolú. En el análisis de metales pesados en aguas superficiales del departamento de Sucre, se evidencia una disminución de la concentración de Cd y Pb a los largo del monitoreo, los valores encontrados están muy por debajo de los valores referenciados en guías internacionales como de riesgo, así mismo los valores de cromo, no se evidencia problemas de contaminación por estos metales en las aguas costeras del departamento.

Córdoba



Río Sinú. Foto: Paola Bautista

4.8 CÓRDOBA

Para el periodo de estudio, el fenómeno climático de “La Niña” influyó en la calidad del agua marino costera del departamento. El incremento de lluvias hizo que el aporte de sólidos, nutrientes y coliformes fuera mayor con respecto a otros años de monitoreo, en cuanto a las variables fisicoquímicas, algunos parámetros como el oxígeno disuelto no presentaron cambios significativos con respecto a las épocas climáticas o el tipo de agua. El principal tributario del departamento, el río Sinú presenta durante el monitoreo histórico una alta carga microbiana que puede ser un riesgo para los habitantes de la zona que lo utilizan para actividades de saneamiento básico como también para actividades pecuarias. Las concentraciones detectadas para metales pesados cadmio, cromo y plomo no generan un riesgo potencial para las aguas marinas y costeras de la región.

El Departamento de Córdoba se encuentra situado en el norte del país, en la parte inferior de la llanura del Caribe; localizado entre los 09°26' y 07°22' de latitud norte; los 74°47' y 76°30' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 23980 km² lo que representa el 2.1 % del territorio nacional. Las fuentes continentales al mar la constituyen los ríos Sinú, San Jorge, Uré y muchos caños que drenan a la zona costera. La red de 18 estaciones de muestreo se ubican desde Coveñas en el límite con el departamento de Sucre hasta Arboletes en el límite con Antioquia (Figura 4.8-1).

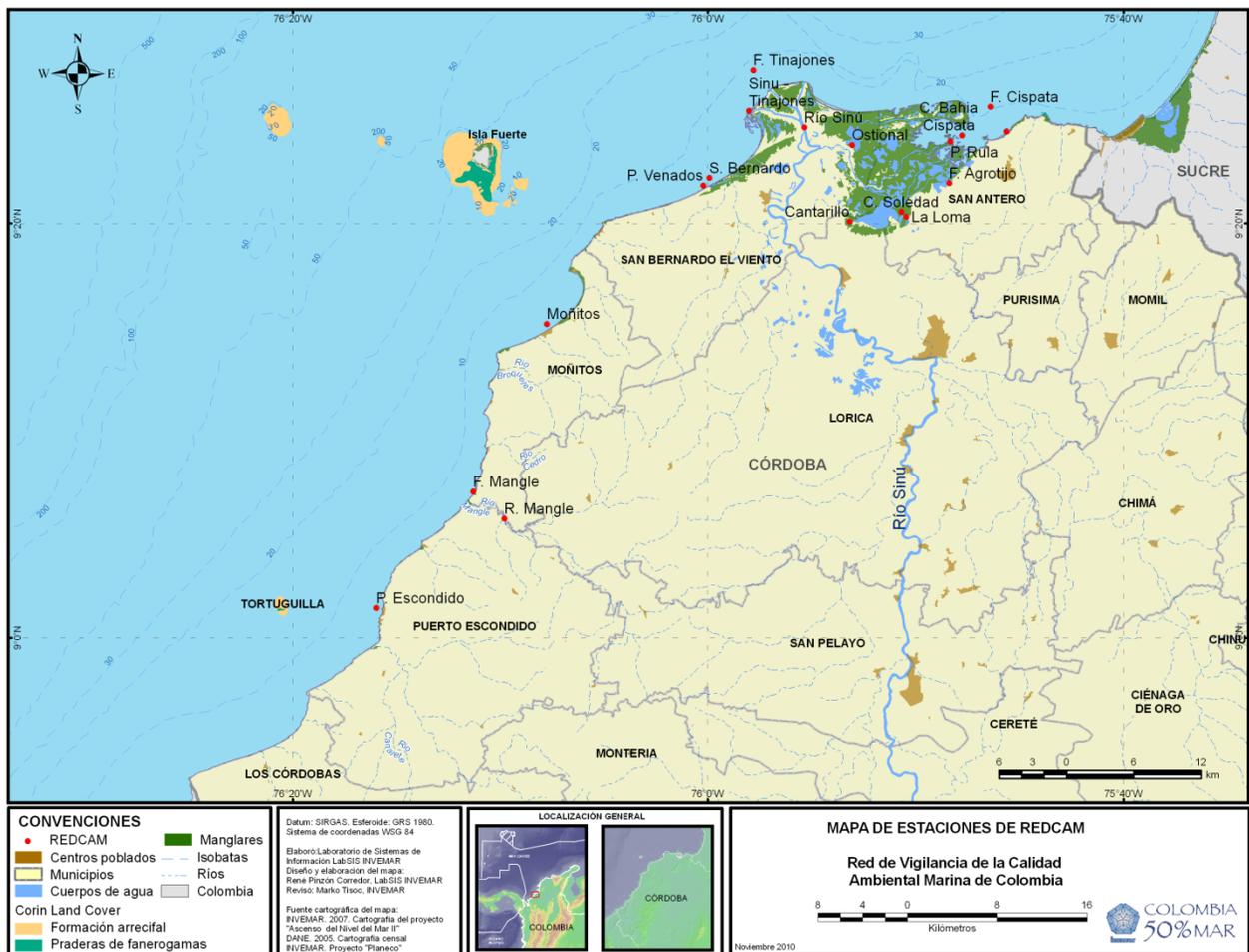


Figura 4.8-1. Estaciones de muestreo en el departamento de Córdoba

4.8.1 Variables Fisicoquímicas

4.8.1.1 *In situ*

Las variables *in situ* medias en el departamento de Córdoba no mostraron diferencias significativas entre las épocas lluviosa y seca en el periodo de análisis ($t=-1,41536$; $p=0,167989$) y tampoco entre los tipos de aguas dulces, estuarinas y marinas ($F=0,16$; $p=0,8493$). La concentración de oxígeno disuelto (OD) en todas las estaciones y en las dos épocas climáticas superaron los 4,0 mg/L, valor mínimo permisible exigido por la norma colombiana para los propósitos de preservación de vida acuática (Minsalud, 1984), con excepción de la estación Cantarillo en la época lluviosa (2,14 mg/L) y Ciénaga de la loma, que en ambas épocas presentó los valores más bajos del departamento (lluviosa 2010: 2,13 mg/L; seca 2011: 3,98 mg/L). Los valores reportados se encuentran dentro del comportamiento del OD en los últimos 11 años, particularmente con los promedios de la época lluviosa de 2001 ($4,6 \pm 0,9$) y 2007 ($4,7 \pm 3,2$) en aguas estuarinas de la región (INVEMAR, 2011).

La salinidad reflejó cambios hidrológicos importantes en las épocas de muestreo (Figura 4.8-2), en el río Sinú presentó un máximo de 7,68 en la época seca, debido a procesos de intercambio y mezcla con aguas marinas, favorecido por los fuertes vientos que acompañan la época seca en el Caribe colombiano. En aguas marinas, la salinidad disminuyó durante la época seca 2011, alcanzando valores tres veces menores que los de la época de lluvias, en todas la estaciones de muestreo. Es de resaltar, que en la zona de estaciones estuarinas no se observó una tendencia temporal definida; los valores mínimos fueron 1,30y 2,30 en las estaciones Caño Grande Ostional y Boca del rio Sinú durante la época seca y máximo de 31,7 en Playa Blanca San Antero durante la época lluviosa. A través de los años de monitoreo la salinidad en algunos sistemas costeros de este departamento ha sufrido grandes cambios, relacionados con el régimen de precipitaciones en la región. No obstante, el promedio obtenido para las épocas evaluadas en aguas estuarinas ($22,95 \pm 6,21$ en época seca y $19,56 \pm 17,54$ en época lluviosa) se enmarca dentro del rango de valores histórico del departamento ($22,49 \pm 14,02$ en época seca y $17,81 \pm 14,05$ en época lluviosa; INVEMAR, 2011).

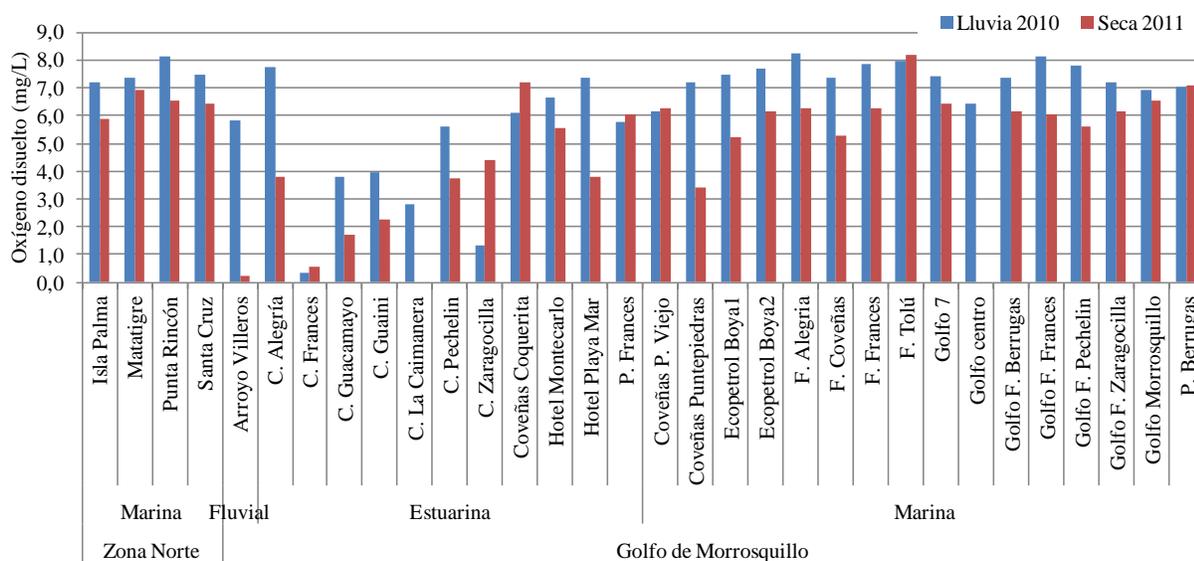


Figura 4.8-2. Comportamiento de la salinidad en aguas superficiales de la zona costera del departamento del Córdoba, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011

El pH presentó las mayores variaciones en aguas estuarinas, con valores entre 7,07 y 8,71. Entre épocas se observó un aumento promedio del valor pH tanto para aguas estuarinas como dulces, de $1,21 \pm 2,52$ y $0,10 \pm 0,12$ unidades de pH, respectivamente, desde la época lluviosa de 2010 a la época seca de 2011. Los mayores valores de pH durante la época seca fueron en aguas estuarinas, principalmente en Boca Distrito Riego Cantarillo (8,43) Brazo Caño Grande Ostional (8,71) y en las ciénagas La Loma (8,20) y La Soledad (8,60). En aguas marinas el pH no tuvo mayores variaciones, debido a la capacidad buffer del agua de mar. En general, los valores de pH registrados durante las dos épocas, se encuentran dentro del rango permisible de 5,0 a 9,0 establecido en la legislación colombiana para propósitos de preservación de fauna y flora (Minsalud, 1984). Igualmente estos valores se encontraron dentro del rango de valores promedio que históricamente ha presentado la época seca en este departamento ($7,59 \pm 2,23$ a $8,24 \pm 1,62$) (INVEMAR, 2011).

La temperatura superficial de las aguas sufrió variaciones entre 27,6 y 32,9 °C para la época lluviosa 2010 y entre 29,1 y 32,3 °C durante la época seca 2011. Espacialmente no se observó una tendencia definida entre los tipos de agua, mientras que en aguas marinas disminuyó ligeramente en la época seca de 2011, en aguas estuarinas aumentó en casi todas las estaciones, excepto en Playa Blanca San Antero donde contrariamente disminuyó aproximadamente 2 °C. Los cambios más sobresalientes en la temperatura del agua, se observaron en algunas estaciones de aguas estuarinas; ubicadas en la bahía de Cispatá y ciénagas como La Loma y La Soledad, donde aumento aproximadamente 4 °C para la época seca, en estos dos últimos posiblemente relacionados con la escasa profundidad que presentan, lo que permite mayor intensidad de la radiación solar y por tanto el calentamiento. Con relación a la distribución temporal y espacial histórica de este parámetro, los máximos promedios corresponden a aguas estuarinas, durante la época seca y de lluvias de 2009 ($31,6 \pm 1,58$ y $32,1 \pm 3,28$ °C, respectivamente) que son más altos al compararlos con el promedio actual para este tipo de agua durante las dos épocas.

4.8.1.2 Sólidos y Nutrientes

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) estuvieron más altas en la época lluviosa que en la época seca en la mayoría de estaciones, pero la diferencia entre las épocas no fue significativa ($p > 0,05$). Los SST estuvieron generalmente por debajo de 50 mg/L, con la excepción de las estaciones del río Sinú (época lluvia: 120,0 mg/L; época seca: 107,2 mg/L), frente Agrotijo (época lluvia: 183,6 mg/L) y el Puerto Escondido (época lluvia: 97,8 mg/L). Aunque las concentraciones son normal para el Río Sinú (promedio histórico: $97,2 \pm 45,5$ mg/L), no es común encontrar valores tan altos en las estaciones como frente Agrotijo (promedio histórico: $49,1 \pm 47,4$ mg/L) y Puerto escondido (promedio histórico: $38,0 \pm 22,7$ mg/L) según los datos históricos de la REDCAM (INVEMAR, 2011).

La turbidez medida en el año actual mostro claras diferencias entre las épocas lluviosa y seca ($p < 0,05$), un resultado esperado en consideración de las inundaciones de la época lluviosa 2010 causados por lluvias excesivas del fenómeno climático La Niña (Figura 4.8-3). Algunas estaciones fluviales, estuarinas y marinas tuvieron valores muchos más altos, entre 27 – 156 NTU, mientras las otras estaciones tuvieron turbidez menos que 10 NTU. Las estaciones más altas son las mismas destacadas por sus SST (Río Sinú, frente Agrotijo y Puerto Escondido) junto a la estación frente Tinajones. El muestreo de 2010-2011 incluye los primeros análisis de turbiedad de la REDCAM en el departamento de Córdoba.

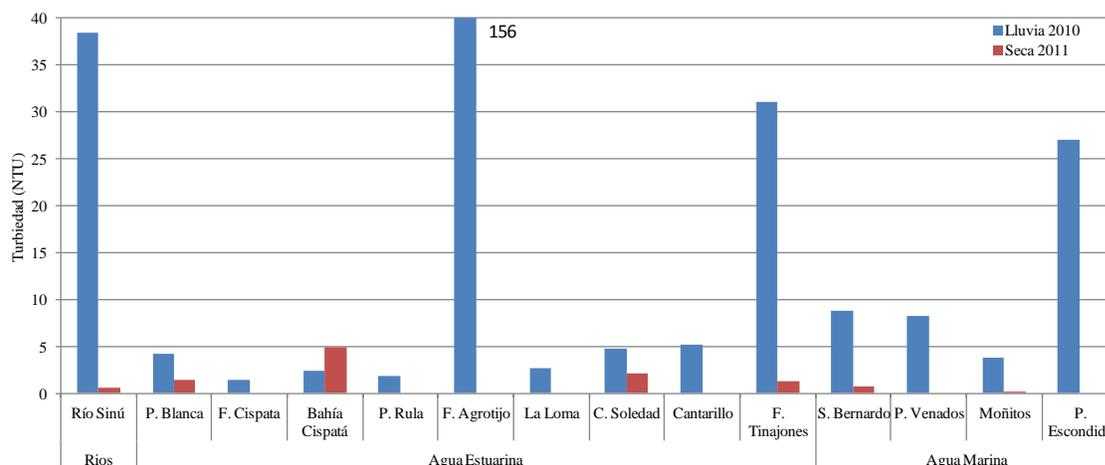


Figura 4.8-3. Valores de turbidez en aguas superficiales del departamento de Córdoba en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), en términos de nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) y amonio (NH_4), mostraron una gran variación temporal con niveles más altos en la época lluviosa que la época seca ($p < 0,05$; Figura 4.8-4). Las concentraciones más altas se encontraron en el Río Sinú, seguido por las estaciones estuarinas, mientras que en aguas marinas fueron los menores registros de NID, estos resultados muestran que las cargas más grandes de NID fueron aportados al mar a través de las aguas superficiales costeras que llegaron en altas cantidades por los eventos de inundación de 2010. En el año actual, los registros de NID se encontraron en la forma de NO_3 , sin embargo, altas cantidades de NH_4 en las estaciones de Centro Bahía Cispata, Punta Rula, Ciénaga la Loma y Ciénaga la Soledad indican aportes de materia orgánica en la zona costera de las poblaciones costeras como San Antero (Figura 4.1-1). Aunque la persistencia de NH_4 no ha sido una tendencia histórica en esta zona, las estaciones cercanas de San Antero han mostradas algunas concentraciones superiores en años anteriores (INVEMAR, 2011).

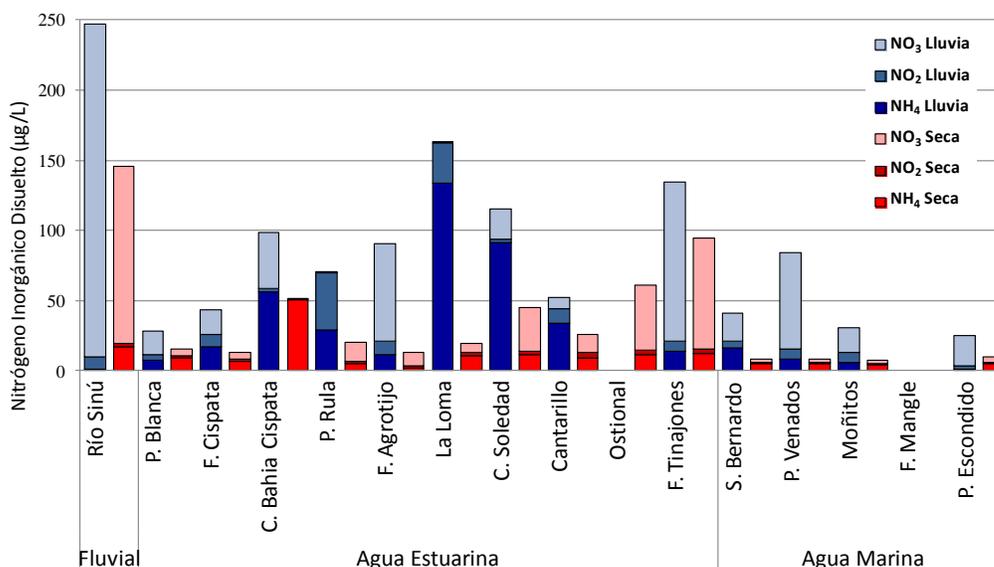


Figura 4.8-4 Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto ($\mu\text{g/L}$) en las formas de amonio (NH_4), nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3) en aguas superficiales del departamento de Córdoba en la épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

En cuanto a las concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS) se encontró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las dos épocas climáticas con niveles de FRS mucho más altos en la época lluviosa (Figura 4.8-5). Este resultado se explica por las propiedades adhesivas del fósforo al sedimento, y el excesivo escurrimiento de material terrigénico aportados por el aumento de volumen de agua durante el fenómeno de “La Niña” en el 2010. Parecido al amonio, los niveles más altos de FRS se encontraron en las estaciones cercanas a San Antero, y los registros históricos se encuentran dentro de los valores reportados en años anteriores (Vivas-Aguas et al. 2010).

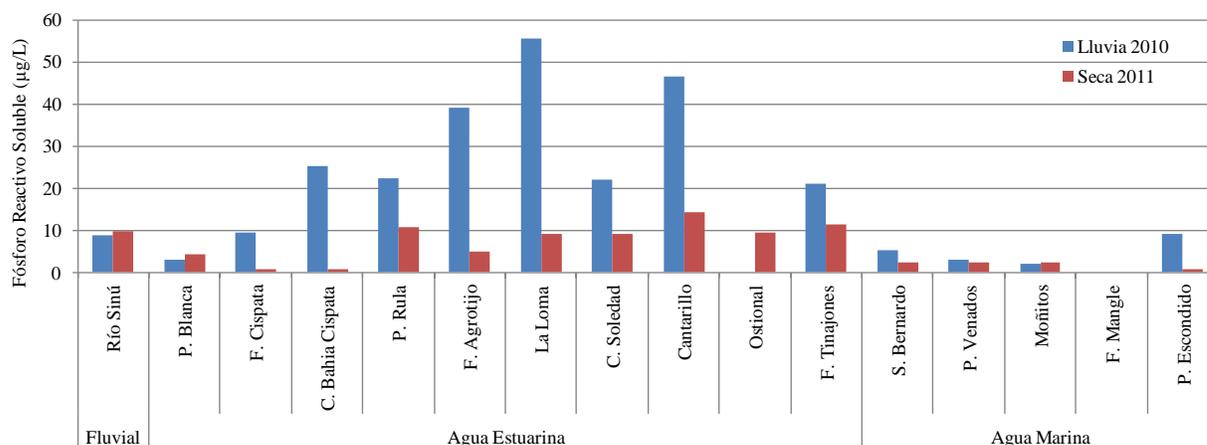


Figura 4.8-5. Concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS, µg/L) medidos en aguas superficiales de Córdoba en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

4.8.2 Contaminación Microbiológica

Las máximas concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal en este departamento son aportadas por el río Sinú, quien en este periodo registró concentraciones de coliformes totales (CTT) de 23.000 y 79.000 NMP/ 100 mL y de coliformes termotolerantes de 7.800 y 27.000 NMP/ 100 mL. Los otros cuerpos de agua con características marinas y estuarinas presentaron niveles de CTT entre 2 y 7.900 NMP/ 100 mL y de CTE entre 1.8 y 3.300 NMP/ 100 mL, con diferencias entre épocas sólo a nivel de coliformes totales ($t = -5,029$; $p = 2,9 \times 10^{-4}$). La diferencia está basada en que el promedio de coliformes totales es superior en la época de lluvias hasta 12 veces, sin embargo los resultados se encuentran en el rango de concentraciones registradas históricamente en el departamento (Base de datos REDCAM, 2011). El incremento en las concentraciones en época de lluvias pueden ser debido a la descarga de microorganismos que se encontraban depositados y acumulados sobre la tierra entre periodos de lluvias (Ackerman y Weisberg, 2003), así como por efecto de las escorrentías que llevan a la zona costera, no sólo microorganismos de origen fecal humano, si no también asociados a especies animales (Casas, 2009).

Teniendo en cuenta la calidad de los cuerpos de agua para actividades recreativas, durante la época de lluvias del 2010 se encontraron condiciones insuficientes de calidad de acuerdo al nivel de enterococos y coliformes termotolerantes en Puerto Escondido y San Bernardo del Viento; mientras que en la época seca sólo se presentaron condiciones no aptas en Playa blanca – Cispata (Tabla 4.8-1). Mantener condiciones sanitarias óptimas en los balnearios contribuye al desarrollo del sector turístico en el departamento, ya que los riesgos sanitarios para los usuarios de las playas se reducen y se puede realizar una mejor oferta de los balnearios.

Tabla 4.8-1. Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en aguas superficiales del departamento de Córdoba en la época de lluvias del 2010 y seca del 2011. Los valores en negrilla son aquellos que sobrepasan los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (Enterococos: 40 UFC / 100 mL; OMS, 2003) y los niveles de referencia establecidos en la legislación colombiana (C. Termotolerantes: 200 NMP/ 100 mL; MINSALUD, 1984)

| Estación | Enterococos (UFC/100 mL) | | C. termotolerantes (NMP/100 mL) | |
|------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------------|------------|
| | Lluvias 2010 | Seca 2011 | Lluvias 2010 | Seca 2011 |
| Playa Moñitos | 24 | 1 | 93 | 6,8 |
| P. Escondido | 45 | 2 | 3300 | 78 |
| S. Bernardo del viento | 6 | 3 | 540 | 1,8 |
| Playa de los Venados | 6 | 1 | 92 | 9 |
| Playa Blanca | 25 | 5 | 33 | 220 |

La detección los coliformes en el río Sinú indica la existencia de otros microorganismos patógenos para el ser humano que pueden ser transmitidos a través del contacto con el agua. Estos patógenos llegan al río a través de procesos de escorrentías y por el servido de aguas residuales de las poblaciones localizadas en los alrededores de la cuenca (Abraham, 2011). Teniendo en cuenta que el río Sinú, al igual que otros ríos del País tiene múltiples usos este puede estar actuando como un vector de transmisión de agentes patógenos para las poblaciones que se benefician a través de la pesca, el transporte, el riego de cultivos y actividades domésticas, entre otros.

4.8.3 Hidrocarburos

En la época de lluvias de 2010 en la cual se presentaron precipitaciones entre el 10 – 40% por encima del promedio para esta estación debido al fenómeno de La Niña (IDEAM, 2010), se registraron los valores históricos más altos de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD en el departamento en la estación ubicada playa San Bernardo del Viento (56,71 µg/L), mientras que en la época seca del 2011, la cual también estuvo influenciada por el fenómeno de La Niña, (IDEAM, 2011), los valores más altos se registraron en las estaciones río Sinú (36,20µg/L),y las estaciones influenciadas por este tributario como son las Ciénagas la Soledad (20,20 µg/L) y la Loma (22,40 µg/L), boca Caño Grande (26,40 µg/L), frente a Agrotijo (23,40 µg/L) y frente a Tinajones (22,50 µg/L) y las playas San Bernardo del Viento (18,50 µg/L), y los Venados (11,30 µg/L). Estas concentraciones posiblemente se deben al transporte marítimo, turismo y aguas servidas de los diferentes municipios de la zona costera los cuales superan el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas propuesto por la UNESCO (1984) (Figura 4.8-6).

El análisis de HDD en este departamento se inicio en el 2001 hasta la actualidad, donde las estaciones influenciadas por el río Sinú y las ubicadas en San Bernardo del Viento son las que realizan los mayores aportes de este contaminante a la zona costera del departamento; donde en la época de lluvias presentaron un ligero aumento debido al lavado de los suelos de las cuencas de estos tributarios. En la época de seca de 2002 se registraron concentraciones por encima del valor de referencia de 10 µg/L de UNESCO (1984), en las estaciones Frente al río Sinú Tinajones 17,83 µg/L y San Bernardo del Viento 15,21 µg/L (Figura 4.8-7). En el año 2001 y desde el 2003 al 2009 las concentraciones de HDD detectadas en aguas superficiales han estado por debajo del valor de referencia para aguas contaminadas, después de esta fecha en el departamento se han registrado concentraciones por encima de los límites permisibles especialmente en las ciénagas influenciadas por el río Sinú y las playas ubicadas en San Bernardo del Viento.

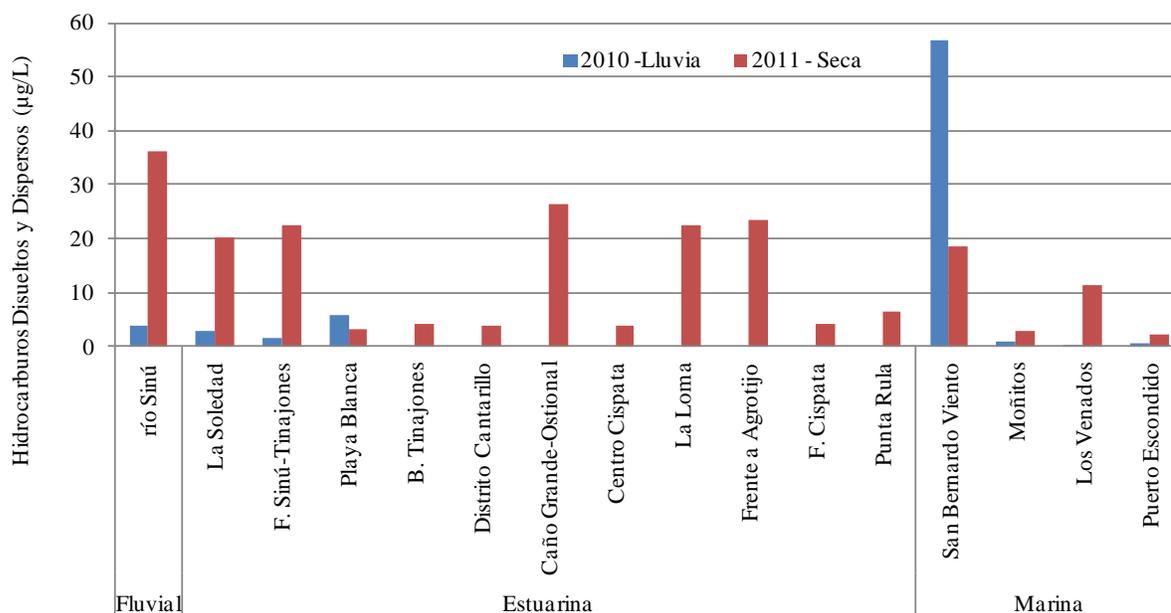


Figura 4.8-6. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) medidas en aguas superficiales de Córdoba en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

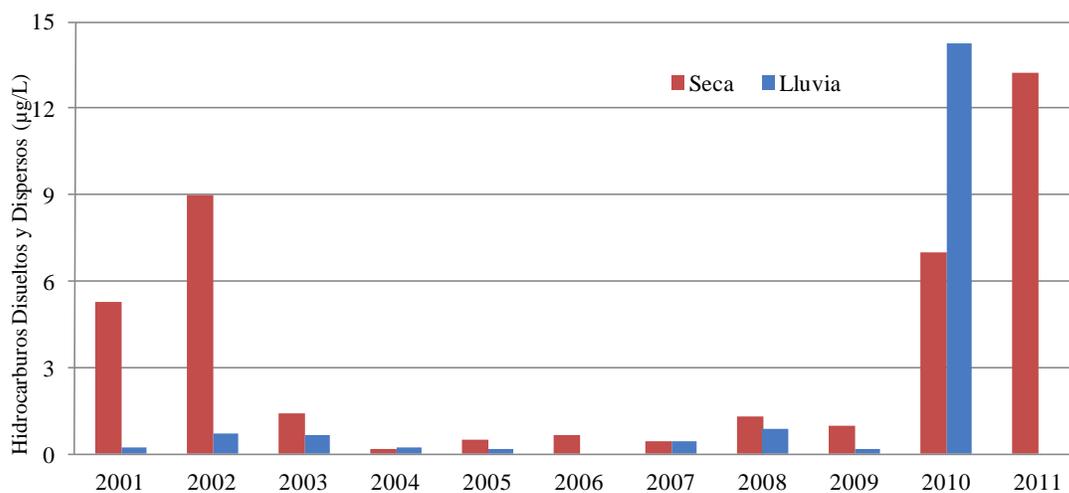


Figura 4.8-7. Promedios históricos de hidrocarburos medidos en aguas superficiales de Córdoba, entre 2001 y 2011.

4.8.4 Metales Pesados

En el departamento de Córdoba se cuenta con poca información referente a contaminación por metales pesados y sus fuentes, sin embargo, es de notar que el río Sinú puede constituirse en la principal fuente de este tipo de contaminantes en la zona costera, ya que, durante su recorrido recoge los residuos de diversos municipios, los cuales finalmente son vertidos al mar por su desembocadura.

En la época de lluvias de 2010 y la época seca de 2011 se analizaron los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr), en las aguas superficiales del departamento de Córdoba, en general los valores de estos elementos están muy por debajo con relación a los referenciados en guías de calidad internacionales como de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas

superficiales marinas (Pb 210, Cd 40 y Cr 50 $\mu\text{g/L}$; [Buchman, 2008](#), [Conama, 1986](#)). El Pb presentó las mayores concentraciones en la época lluvias de 2010 (en promedio $2,82 \pm 1,65 \mu\text{g/L}$), mientras en la época seca de 2011 el promedio fue de $1,86 \pm 1,38 \mu\text{g/L}$ (Figura 4.8-8), no se evidencia una tendencia espacial de la concentración de este elemento.

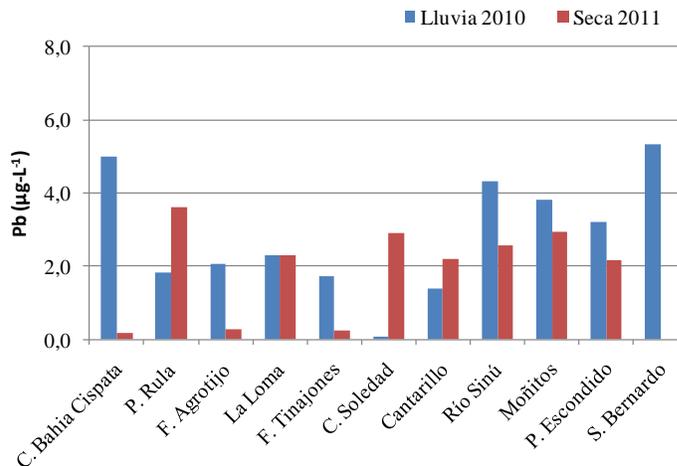


Figura 4.8-8. Concentraciones de plomo (Pb, $\mu\text{g/L}$) en aguas superficiales de la zona costera del departamento de Córdoba, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

Las concentraciones de cadmio (Cd) se registraron por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada, lo cual indica que no hay una entrada presente de este elemento en la zona costera de este departamento. En cuanto a el cromo (Cr) tanto en el muestro de la época de lluvias de 2010 y época seca de 2011 mas del 60% de las estaciones registraron valores por debajo del límite de detección de la técnica analítica usada, las estaciones donde se registraron valores durante la época de lluvias de 2010, fueron San Bernardo del Viento ($3,60 \mu\text{g/L}$) y F. Agrotijo ($1,47 \mu\text{g/L}$), mientras en la época seca de 2011, la única estación que registró un valor por encima del límite de detección fue la estación río Sinú ($1,19 \mu\text{g/L}$), valores muy por debajo de los referenciados como de riesgo por guías internacionales para este tipo de aguas ($50 \mu\text{g/L}$, [Conama, 1986](#)).

Durante el monitoreo REDCAM en el departamento de Córdoba se han analizado estos elementos desde la época seca de 2001. Se evidencia que las mayores concentraciones promedio de Cd y Pb se registraron en la época seca de 2001 y 2002 ($2,83 \pm 1,22$ y $72,7 \pm 24,5 \mu\text{g/L}$ de Cd y Pb, respectivamente; Figura 4.8-9). En el plomo se nota importante disminución en la actualidad con relación a los años 2001 y 2002, sin embargo no se han registrado durante el monitoreo valores que impliquen riesgo para el ecosistema marino costero ($210 \mu\text{g/L}$ [Buchman, 2008](#)), con relación al Cd en general en los últimos años de muestreo (2007-2011) se evidencia una marcada disminución en la presencia de este elemento en las aguas costeras del departamento de Córdoba (Figura 4.8-9).

Históricamente, las concentraciones de Cr (Figura 4.8-10), no presentan una tendencia tan clara como el Pb y Cd. Las mayores concentraciones promedio se han registrado en la época de lluvias de 2004 ($4,89 \pm 4,71 \mu\text{g/L}$), sin embargo estos valores están muy por debajo de los valores de riesgo referenciado en normatividad internacional ($50 \mu\text{g/L}$, [Conama, 1986](#)) por lo tanto no se prevén riesgos para los ecosistemas acuáticos por este elemento.

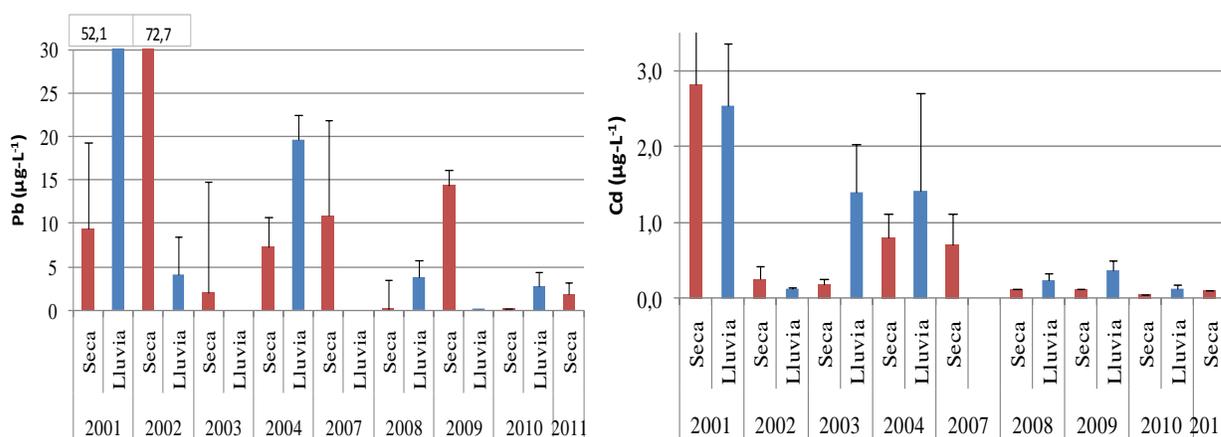


Figura 4.8-9 Comportamiento histórico de la concentración promedio de Plomo y Cadmio (Pb, µg/L y Cd, µg/L) en aguas superficiales de la zona costera del departamento de Córdoba, en las épocas climáticas lluvias y seca.

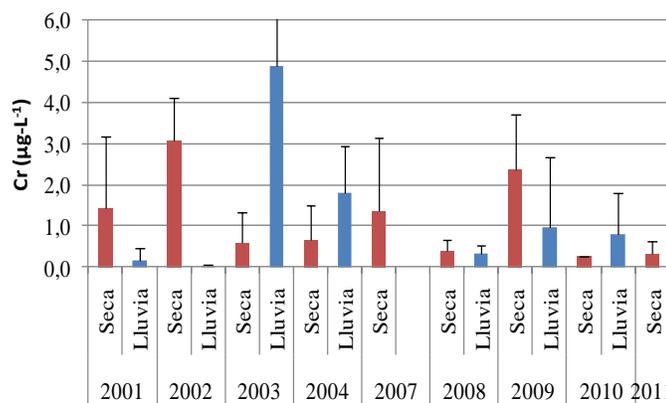


Figura 4.8-10 Comportamiento histórico de la concentración promedio de Cromo (Cr, µg/L), medidas en aguas superficiales del departamento de Córdoba, en las épocas climáticas lluvias y seca.

4.8.5 Conclusiones

Las variables fisicoquímicas del agua presentaron variaciones entre épocas y entre zonas de muestreo. El oxígeno disuelto presentó para la mayoría de las estaciones valores que superaron el límite mínimo permisible establecido para los propósitos de preservación de vida acuática, aunque las estaciones Cantarillo y Ciénaga La Loma presentaron valores debajo de dicho límite. La salinidad presentó un rango de valores de acuerdo a los tipos de agua, con valores extremos en aguas estuarinas y debidas a procesos de mezcla durante la temporada lluviosa y seca del año. El pH se comportó dentro del rango de valores que propone la legislación colombiana para efectos de preservación de vida acuática. El evento climático de “La Niña” afectó la entrada de nutrientes y sedimentos a las aguas marinas costeras del departamento. El aporte principal de aguas superficiales a esta zona corresponde al Río Sinú que durante los registros históricos presenta las mayores concentraciones de sedimentos y nutrientes del departamento. Para el periodo lluvioso de 2010 las estaciones cercanas a la zona costera de San Antero tuvieron los niveles más altos de fosforo reactivo soluble y amonio, indicando fuentes cercanas de materia orgánica, un resultado que ha sido observado en algunos años anteriores también.

En la época de lluvias de 2010 el 20% y en la seca del 2011 el 50% de las estaciones monitoreadas para HDD, sobrepasaron el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas en el río Sinú y las ciénagas de su influencia al igual que en la playa de de San Bernardo del Viento.

Las concentraciones de Cd, Cr y Pb en las aguas superficiales, no superan los valores referenciados como de riesgo en guías internacionales, por lo cual no se consideran de riesgo para el ambiente. No obstante, se debe continuar el monitoreo y extender a otras matrices que puedan indicar la residencia y destino de estos contaminantes como los sedimentos.

Las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal fueron superiores en la época de lluvias. Adicionalmente durante el presente periodo, las playas Puerto Escondido, San Bernardo del Viento y Playa Blanca San Antero presentaron condiciones insuficientes de calidad microbiológica para el desarrollo de actividades de recreación.

Antioquia



Desembocadura del río Currulao. Foto: Janet Vivas



Desembocadura río Guadualito. Foto: Janet Vivas

4.9 ANTIOQUIA

La zona costera del departamento de Antioquía comprende 425 km de línea costa (IGAC, 2008), que circunscriben el Golfo de Urabá, conformado por los municipios costeros de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes. Esta subregión denominada el Urabá Antioqueño, vecina de los departamentos de Chocó y Córdoba, ocupa un área de 11.664 km² que representan el 18,34% del departamento conformada por 11 municipios divididos en tres zonas. La *zona Norte* incluye Arboletes, Necoclí, San Juan de Urabá y San Pedro de Urabá con tierras para ganadería extensiva. La *zona Centro* formada por Chigorodó, Carepa, Apartadó y Turbo donde se encuentra la mayor actividad agrícola de la región, representada en la producción de banano y plátano y la *zona Sur* integrada por Vigía del Fuerte, Mutata y Murindó, rica en biodiversidad y bosques no intervenidos (ADRA, 2006; Observatorio del Programa Presidencial de Derechos Humanos y DIH, 2004). Geográficamente se enmarca dentro de los 8°37' y 7°55' de latitud norte y 77°25' y 76°55' de longitud oeste (Figura 4.9-1).

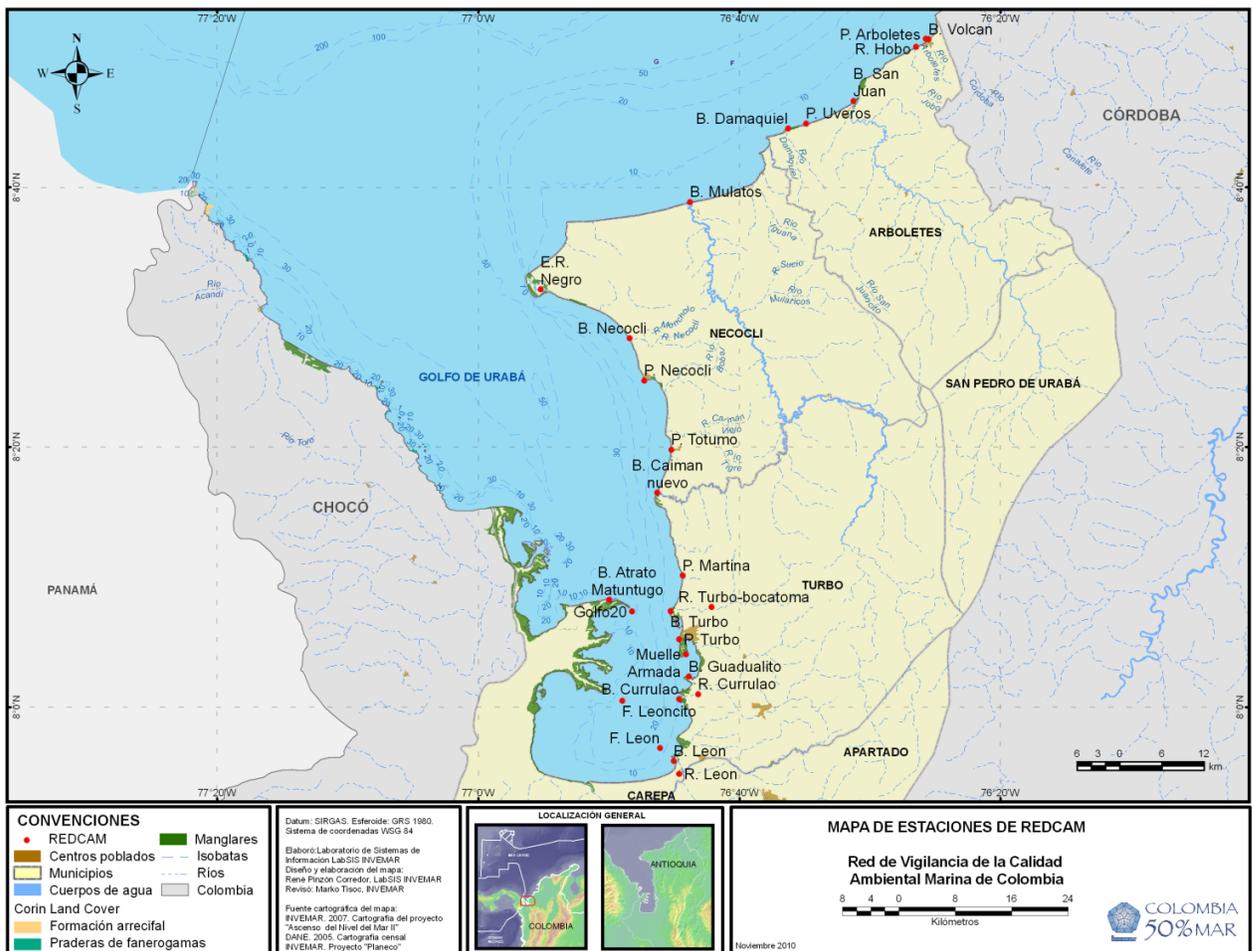


Figura 4.9-1. Estaciones de muestreo de las aguas superficiales en el departamento de Antioquia.

En el Golfo de Urabá desembocan el río Atrato y otra serie de tributarios y quebradas de menor caudal que drenan a la zona costera, como los ríos Turbo, León, Volcán, Damaniel, Necoclí, San Juan, Mulatos,

Guadualito, Currulao, entre otros (Corpouraba, 2008). La red de 26 estaciones de muestreo de calidad de aguas marinas y costeras se extiende en la zona norte desde Arboletes en el límite con el departamento de Córdoba y a lo largo del Golfo de Urabá hasta el límite con el departamento del Chocó (Figura 4.9-1). La red incluye estaciones en la cuenca baja de los ríos un km arriba, la desembocadura, los frentes en la parte marina y algunas playas y sitios de interés ambiental.

4.9.1 Variables Físicoquímicas

4.9.1.1 *In situ*

En el muestreo de la época de lluvias de 2010 y la época seca de 2011 se observaron valores de oxígeno disuelto (OD) menores al límite permitido de 4,0 mg/L para preservar la vida acuática, según la norma colombiana (Minsalud, 1984), principalmente en varias estaciones de aguas estuarinas y fluviales ubicadas en el sector entre Turbo y el río Atrato, así como entre Arboletes y Necoclí (Figura 4.9-2).

En la época de lluvias de 2010 el OD osciló entre 0,46 y 11,5 mg/L, el 22% de las mediciones de OD fueron bajas e adecuadas para los ecosistemas acuáticos, especialmente en los ríos Volcán, Atrato (Matuntugo) y Currulao; y durante el primer muestreo 2011 se mantuvo entre 0,0 y 11,6 mg/L, donde el 50 % de las estaciones presentaron concentraciones muy bajas, casi de anoxia en el sector Turbo – Atrato al sur del Golfo de Urabá, y en la desembocadura del río Volcán en Arboletes. No obstante, las descargas de aguas continentales de los ríos y la dinámica oceanográfica del Golfo de Urabá propician estas condiciones y cambios en las variables físicas. El detrimento de OD en la época seca podría deberse a la presencia del evento La Niña que se prolongó desde el 2010 (Figura 4.9-2), el cual aumentó las precipitaciones y los niveles de los ríos y escorrentías a la zona costera (IDEAM, 2011c). En temporada de lluvias el OD disminuye, debido a los procesos de oxidación de la materia orgánica que favorecen la proliferación de microorganismos degradadores (García-Valencia, 2007).

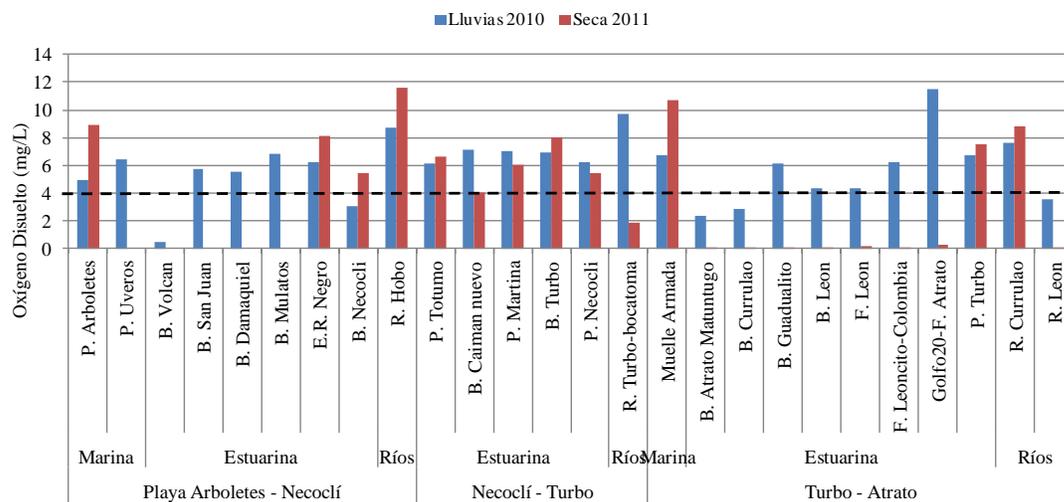


Figura 4.9-2. Comportamiento del oxígeno disuelto (mg/L) en aguas superficiales del departamento de Antioquia, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011. La línea punteada representa el límite permisible > 4 mg/L para preservación de flora y fauna (Minsalud, 1984).

En cuanto al valor de pH, las aguas superficiales presentaron en ambas épocas de muestreo valores desde casi neutros de 6,9 hasta alcalinos 8,6 dentro del rango de referencia permitido para los ecosistemas

acuáticos (6.5 – 9.0; Minsalud, 1984), de acuerdo a los datos, no se observó una tendencia temporal para el pH y su distribución se atribuye a la dinámica natural que presentan las aguas costeras del golfo de Urabá (García-Valencia, 2007).

La salinidad, mostró una distribución espacial y temporal heterogénea de acuerdo a los tres tipos de agua de la zona (Figura 4.9-3). En los ríos el máximo valor de 4,9 se midió en el río Hobo; mientras que en las aguas marinas y estuarinas el rango de salinidad es mucho más amplio. El Golfo de Urabá tiene condiciones típicas estuarinas porque allí desembocan el río Atrato y otra serie de tributarios y quebradas de considerable caudal, que hace que las aguas continentales se mezclen con el mar, bajando la salinidad a valores entre 0,0 y 24,2 durante la época de lluvias 2010 y entre 0,0 y 11,8 en la época seca de 2011, la cual fue atípica por las lluvias del evento La Niña, y por ende las aguas marinas oscilaron entre 5,4 y 24,2 en este período (Figura 4.9-3). Las variaciones de la salinidad en aguas superficiales están regidas por los grandes volúmenes de agua que descargan los tributarios al golfo de Urabá creando condiciones dulces al interior del golfo. Durante la época seca, el patrón de circulación es dominado por las corrientes superficiales generadas por fuertes y persistentes vientos Alisios del norte y en la época de lluvias por las corrientes formadas por la acción conjugada de los vientos y el caudal de los ríos (Roldan, 2008) que crean un medio casi completamente dulce hacia la parte sur de Bahía Colombia (García-Valencia, 2007).

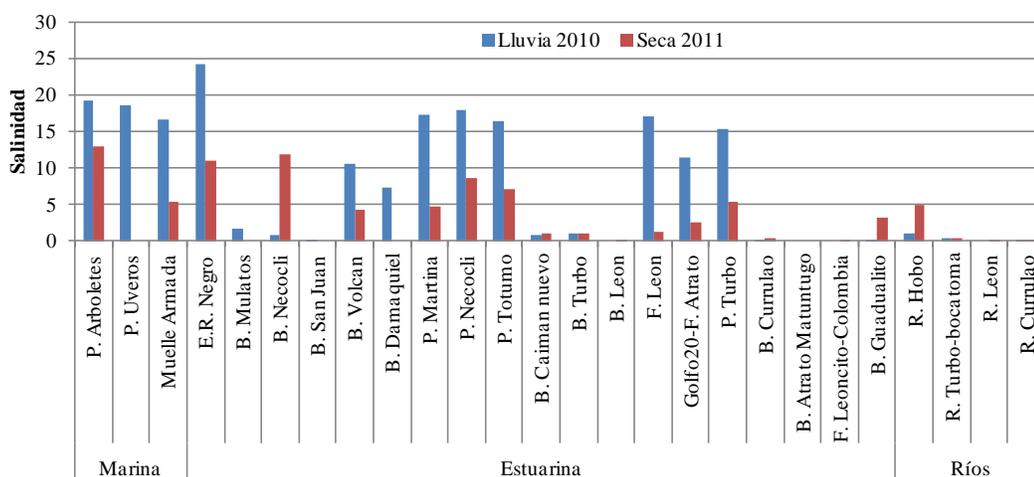


Figura 4.9-3 Comportamiento de la salinidad en aguas superficiales de la zona costera del departamento de Antioquia, durante la época lluviosa de 2010 y seca de 2011

4.9.1.2 Nutrientes y Sólidos

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) encontradas en las aguas superficiales costeras del departamento de Antioquia fueron más altas durante la época lluviosa 2010 que la época seca 2011 en varias estaciones (Figura 4.9-4), pero la tendencia temporal no fue significativa en todas las estaciones del departamento ($p > 0.05$). Se presentaron importantes aportes de sólidos suspendidos en la desembocadura de varios ríos que drenan por las zonas agrícolas del departamento, como los ríos Currulao, Guadualito y San Juan que alcanzaron los niveles de SST más altos en la época lluviosa con 4850, 3710 y 908 mg/L de SST, respectivamente. Otros ríos como el Atrato y León también tuvieron concentraciones altas (540 y 438 mg/L, respectivamente), igual que las playas turísticas del Totumo con 450 mg/L y de Necoclí con 274 mg/L, estos niveles pueden ser inadecuados para el valor estético de estas playas.

Históricamente, la boca del río San Juan ha mostrado los niveles más altos de SST entre 4 y 13440 mg/L y un promedio histórico de 1121 ± 3120 mg/L, similares a los SST medidos en este último período 2010-2011; y comparables con las concentraciones encontradas en las bocas de los ríos Currulao (4850 mg/L) y Guadualito (3710 mg/L) para la época lluviosa de 2010 (Figura 4.9-5). Los promedios históricos de SST en las bocas de los ríos Currulao (promedio histórico: 855 ± 2206 mg/L) y Guadualito (promedio histórico: 566 ± 955 mg/L) no han sido tan altos como la boca del río San Juan, sin embargo, estos ríos se identifican como fuentes importantes para la entrada de altas concentraciones de SST en el Golfo de Urabá (INVEMAR, 2011). En términos de carga de sedimentos, es importante recordar que el río Atrato es la mayor fuente de la zona, con promedios de caudal y carga de sedimentos superiores entre 40 y 14 veces más grandes que los anteriores ríos, respectivamente (Restrepo y Kjerfve, 2000).

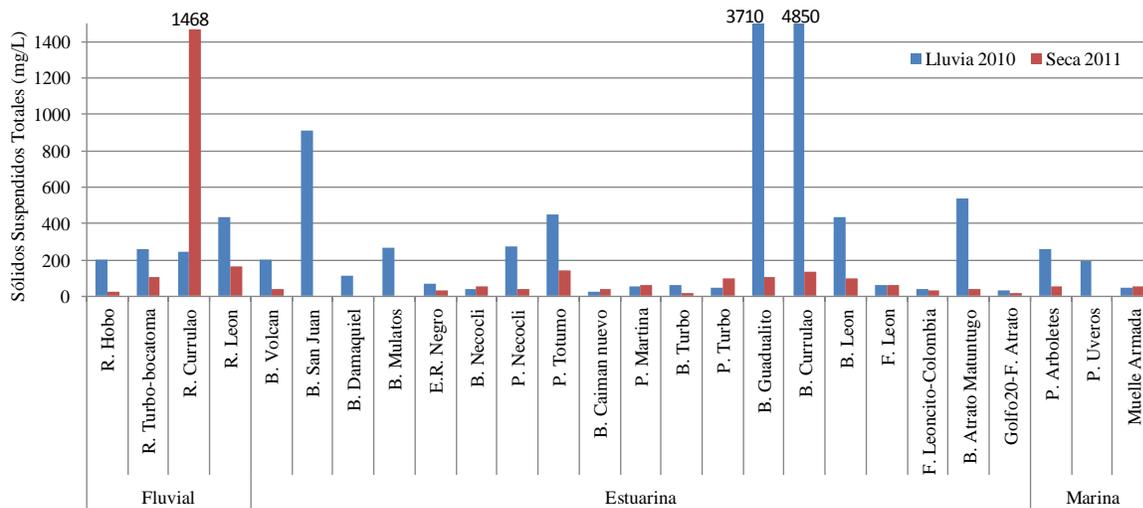


Figura 4.9-4. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) en las estaciones de aguas superficiales costeras del departamento de Antioquia en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011

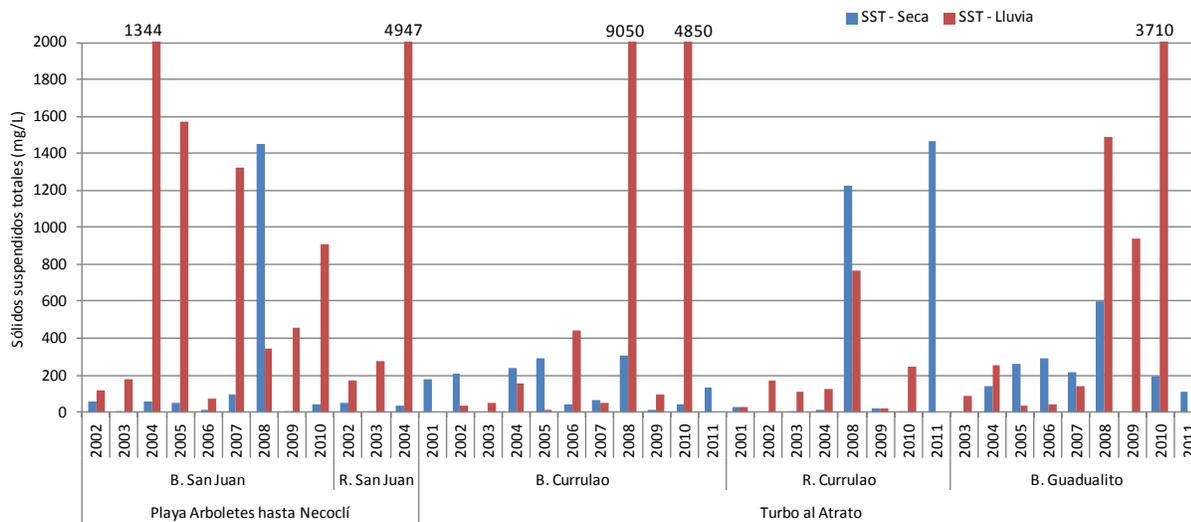


Figura 4.9-5. Concentraciones históricas de sólidos suspendidos totales (mg/L) en aguas superficiales de los ríos San Juan, Currulao y Guadualito entre 2001 a 2011.

Las mediciones de turbidez mostraron una diferencia significativa entre las épocas climáticas ($p < 0,05$) con aguas más turbias en la época lluviosa de 2010 (Figura 4.9-6), y los niveles más altos en las desembocaduras de los ríos Currulao (932 NTU), San Juan (860 NTU), Guadualito (732 NTU) y León (628 NTU), mientras que para la época seca de 2011 sólo en el río Currulao se midió una turbidez atípicamente muy alta (1020 NTU) comparada con las demás estaciones, coherente con el resultado alto de SST en este mismo río durante la época seca 2011. Con diferencia a las estaciones anteriores, en la época lluviosa de 2010 el resto de estaciones estuarinas y marinas registraron valores de turbidez promedio de $73,3 \pm 97,6$ NTU, similares al promedio de todas las estaciones en época seca ($47,5 \pm 47,9$ NTU) sin incluir el río Currulao. Los datos históricos de los ríos mencionados muestran que típicamente los valores de turbidez no superan los 200 NTU, con excepción de algunos datos altos en el 2008, 2010 y 2011 (INVEMAR, 2011). La alta variación entre los años sugiere que la turbidez depende de condiciones particulares de la época de muestreo, probablemente por la lluvia que fue especialmente fuerte en el 2010 por el fenómeno de La Niña.

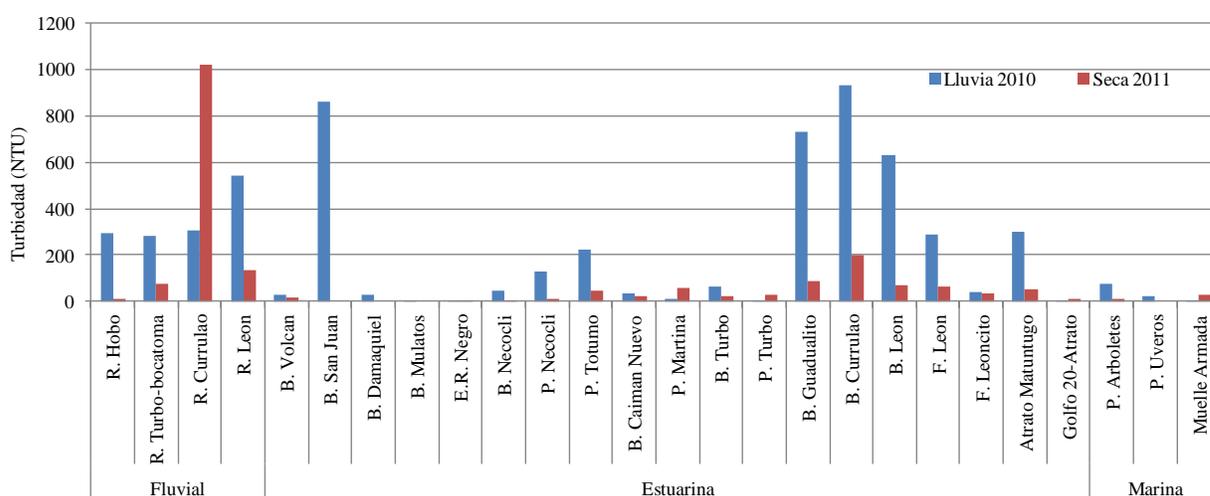


Figura 4.9-6. Valores de turbidez (NTU) en las estaciones aguas superficiales costeras del departamento de Antioquia en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), en términos de nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) y amonio (NH_4) en las aguas costeras del departamento de Antioquia, mostraron cambios entre las épocas lluviosa y seca (Figura 4.9-7), dependiendo de la estación de muestreo. Mientras que varios ríos tuvieron niveles de NID más altos en la época lluviosa, las estaciones de playa Arboletes, las desembocaduras de los ríos Volcán y Atrato-Matuntugo, frente a Leoncito y el río Currulao mostraron niveles altos durante la época seca.

Estos cambios pueden deberse a la variabilidad en la precipitación local que afecta lugares específicos en los días de muestreo, sin embargo, el valor del río Currulao en la época seca es curioso porque entre la estación del río arriba y la desembocadura, los niveles de NID cayeron desde $1041,4 \mu\text{g/L}$ hasta $47,3 \mu\text{g/L}$. Esta situación también se presentó en los datos de SST y turbidez en el río Currulao, mostrando un gran efecto de dilución en la desembocadura que podría deberse a acción de mezcla y un bajo caudal en el río arriba durante la época seca. Las estaciones en la costa noreste, entre la ensenada de Rionegro y playa Totumo tuvieron menos NID que otras partes del departamento, quizás por tener menos influencia de zonas agrícolas, la cual es evidente en los datos de NID de las otras estaciones, que en su gran mayoría el nitrógeno se encuentra en forma de NO_3 (80%), un compuesto típico de fertilizantes inorgánicos aplicados a los cultivos.

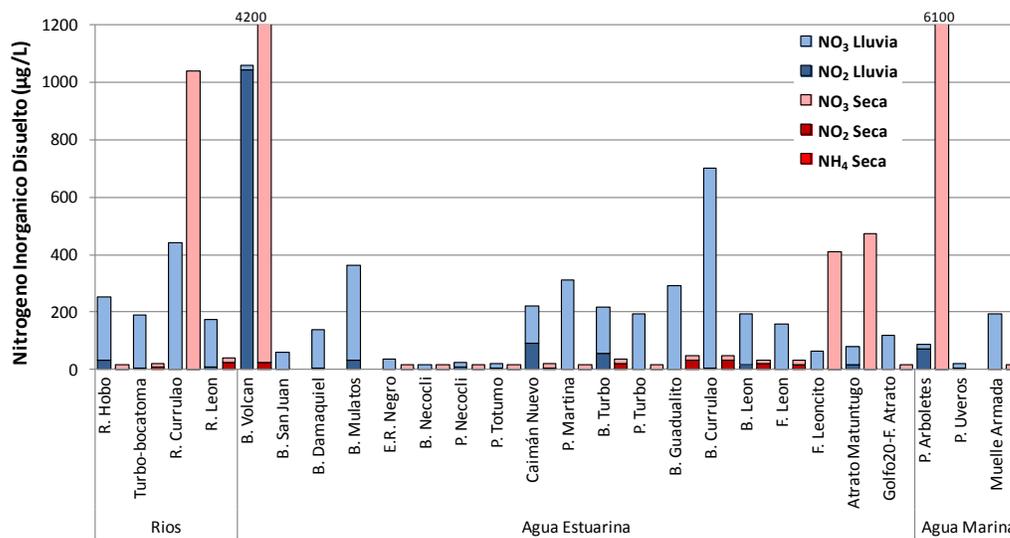


Figura 4.9-7. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto ($\mu\text{g/L}$) en las formas de amonio (NH_4), nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3) en aguas superficiales del departamento de Antioquia en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

Particularmente, las concentraciones de NO_3 fueron altas en playa Arboletes ($6100 \mu\text{g/L}$) y la desembocadura del río Volcán ($4200 \mu\text{g/L}$), cercanas a la descarga permanente de una laguna de oxidación del municipio de Arboletes y con la influencia de ~ 60 vertimientos directos de viviendas localizadas sobre la margen izquierda del río. Las concentraciones altas de estos nutrientes pueden resultar muy probablemente en condiciones de eutrofización en las aguas costeras. Otro tema de preocupación es la concentración de NO_2 encontrado también en la boca de río Volcán en la época seca 2011 de $1045 \mu\text{g/L}$, que podría ser tóxico para la vida acuática (Boyd, 2000). Aunque históricamente se ha encontrado concentraciones altas de nitrógeno en playa Arboletes y la desembocadura del río Volcán como en el año actual, éstas han sido puntuales y no frecuentes (INVEMAR, 2011).

Por otro lado, las concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS) mostraron una marcada diferencia entre épocas climáticas ($p < 0.05$) y en la época seca de 2011 todas las estaciones registraron valores por debajo del límite de detección ($5 \mu\text{g/L}$), con excepción de la desembocadura del río Volcán ($9300 \mu\text{g/L}$; Figura 4.9-8), probablemente por las descargas domésticas cercanas. Durante la época lluviosa de 2010 varias estaciones obtuvieron altos niveles de FRS como las desembocaduras de los ríos Volcán ($1250 \mu\text{g/L}$) y Necolí ($1260 \mu\text{g/L}$), el río San Juan ($1030 \mu\text{g/L}$) y playa Totumo ($710 \mu\text{g/L}$) aunque otras estaciones estuvieron por debajo del límite de detección. Históricamente, las concentraciones para la desembocadura del río Volcán encontradas en el 2010 son normales (promedio histórico: $4292 \pm 7219 \mu\text{g/L}$), pero en estaciones como la desembocadura del río Necolí ($179 \pm 353 \mu\text{g/L}$), en el río San Juan ($221 \pm 335 \mu\text{g/L}$) y playa Totumo ($160 \pm 220 \mu\text{g/L}$; INVEMAR, 2011) son atípicamente altas en comparación con sus promedios históricos.

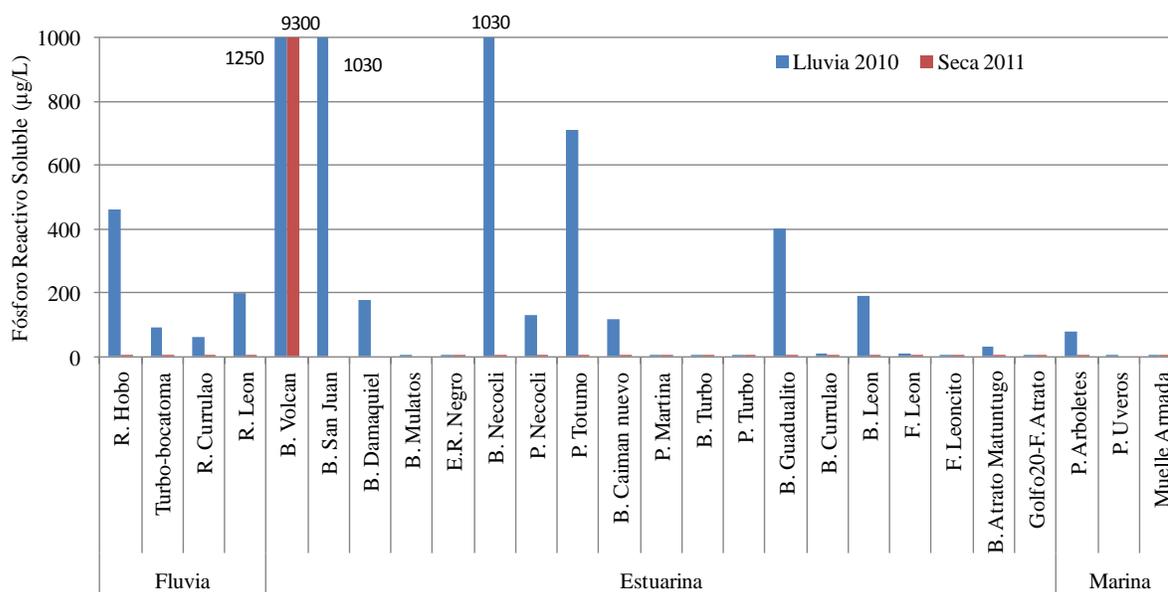


Figura 4.9-8. Concentraciones de fósforo reactivo soluble (µg/L) en aguas superficiales del departamento de Antioquia en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

4.9.2 Contaminación Microbiológica

Las aguas costeras en Antioquia, se han caracterizado históricamente por presentar concentraciones elevadas de coliformes en comparación con otras zonas costeras del país. Durante el último periodo evaluado se sigue observando esta misma tendencia, con registros que oscilan entre 70 y 18 x 10⁹ NMP/100 mL coliformes totales (CTT) y entre 20 y 14 x 10⁹ NMP/ 100 mL coliformes termotolerantes (CTE), sin presentarse diferencias entre los tipos de agua ni entre las épocas climáticas (p > 0,05). A pesar de la presencia de concentraciones elevadas de coliformes en la mayoría de las estaciones de muestreo, se encontraron valores menores en las playas.

En las estaciones de playa los CTE fluctuaron entre 230 y 33.000 NMP/ 100 mL, superiores al límite máximo permitido en la legislación colombiana para aguas destinadas a actividades de contacto primario como baño y natación (CTE < 200 NMP/ 100 mL), presentando condiciones insuficientes de calidad, tanto en la época de lluvias de 2010 como en la época seca de 2011 que fue atípicamente lluviosa por el evento La Niña (Tabla 4.9-1). Por otra parte, los CTT oscilaron desde 330 a 110.000 NMP/ 100 mL, y sólo las playas Uveros, Totumo y Arboletes registraron concentraciones superiores al límite establecido para el desarrollo de actividades de contacto secundario, como deportes náuticos (CTT > 5.000 NMP/100 mL; Tabla 4.9-1).

En promedio, las playas de este departamento durante los 10 años de monitoreo han presentado condiciones de calidad inadecuada según los niveles de coliformes y la legislación nacional en más del 50 % de las mediciones, y han sido Arboletes, Necoclí y Turbo las playas de calidad más deficiente (Figura 4.9-9) debido a que están cerca de las poblaciones de su mismo nombre (Figura 4.9-1). Aunque estas poblaciones tienen sistemas de tratamiento de sus aguas residuales, algunas viviendas no están conectadas a la red de alcantarillado y utilizan pozos sépticos ó descargan sus aguas en predios y cuerpos de agua aledaños, como es el caso del río Volcán que recibe las descargas del municipio de Arboletes (Vivas-Aguas *et al.*, 2010) y este tributa a la zona costera.

Tabla 4.9-1. Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las playas de Antioquia durante la época lluviosa de 2010 y seca de 2011. Los valores en negrilla son aquellos que sobrepasan los límites establecidos por la legislación colombiana para Coliformes totales (< 5.000 NMP/ 100 mL) y termotolerantes (< 200 NMP/ 100 mL) en aguas recreacionales (Minsalud, 1984). ND: No datos.

| Sector | Playa | Coliformes totales (NMP/100 mL) | | Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) | |
|-------------------------|-----------|---------------------------------|---------------|---|-------------|
| | | Lluvias 2010 | Seca 2011 | Lluvias 2010 | Seca 2011 |
| Arboletes hasta Necoclí | Arboletes | 94000 | 110000 | 33000 | 2000 |
| | Uveros | 16000 | ND | 3500 | ND |
| Necoclí hasta Turbo | Necoclí | 4600 | 500 | 1100 | 330 |
| | Totumo | 79000 | 1700 | 13000 | 330 |
| | Martina | 330 | 500 | 230 | 330 |
| Turbo al Atrato | Turbo | 700 | 1300 | 500 | 790 |

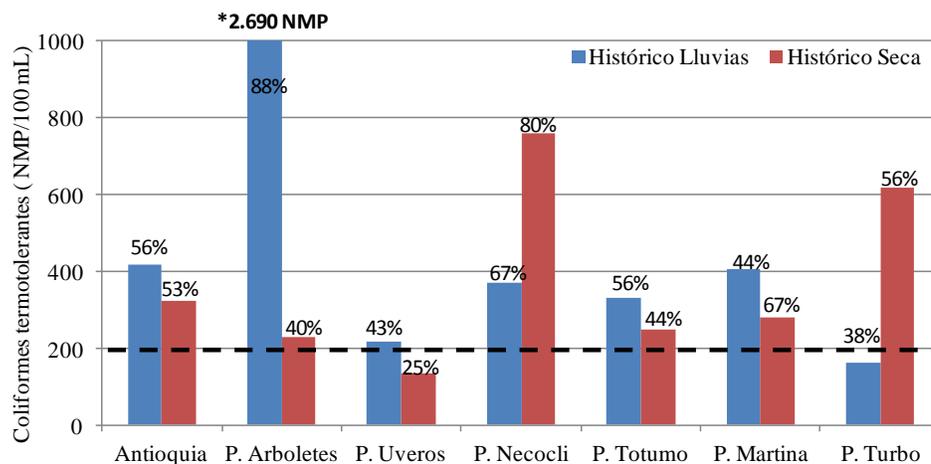


Figura 4.9-9. Comparación de las concentraciones de Coliformes termotolerantes registradas históricamente (2001 -2010) en época seca y lluviosa en el departamento de Antioquia y sus playas, en contraste con el porcentaje de casos de incumplimiento de los estándares nacionales para actividades de contacto primario.* El valor máximo registrado es 2690 NMP/100 mL. La línea negra punteada equivale al valor de referencia de coliformes termotolerantes establecido para aguas de contacto primario en la legislación colombiana (200 NMP/ 100 mL).

El río Volcán en el primer muestreo de 2011, registró el valor más alto de coliformes desde el año 2003 cuando inició su monitoreo (18×10^9 NMP/100 mL). Las concentraciones que ha aportado este río a la zona costera son muy superiores a las descargas realizadas por otros tributarios del departamento, de tal forma que sus aguas no son seguras para el desarrollo de actividades que impliquen el contacto directo o indirecto con las personas. En estas mismas condiciones están los ríos que tributan al mar en las zonas de Arboletes, Necoclí, Turbo y Atrato a la altura de su desembocadura Matuntugo (Figura 4.9-10). Teniendo en cuenta que estos ríos tienen como principal destino la preservación de la flora y fauna de los ecosistemas, y aunque en Colombia no exista legislación a nivel microbiológico para este uso, al comparar las concentraciones con las normativas de países como Perú, se observó que los tributarios Volcán en Arboletes, Caimán en Necoclí y Guadalito, Currulao y León en Turbo sobrepasaron los valores de referencia de coliformes totales permitidos para este uso (Salas, 2000).

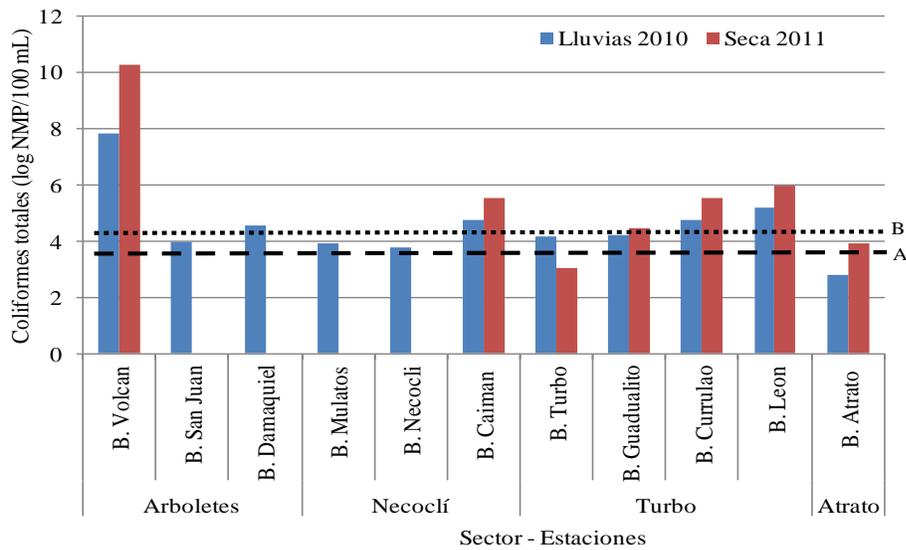


Figura 4.9-10 Concentración de coliformes totales (logaritmo de NMP/100 mL) en aguas superficiales de los ríos que llegan a la zona costera del departamento de Antioquia durante la época de lluvias de 2010 y seca de 2011. La línea punteada A representa el valor de coliformes totales (5.000 NMP/100 mL; Minsalud, 1984) establecido como referencia en Colombia para aguas destinadas a contacto secundario, riego de frutas y hortalizas de tallo corto. La línea punteada B corresponde al valor permisible para preservación de flora y fauna en Perú (20.000 NMP/ 100 mL; Salas, 2000).

4.9.3 Metales Pesados

Entre la época seca y de lluvias de 2010 todas las estaciones estuvieron muy por debajo de los niveles de riesgo para efectos agudos en aguas marinas referenciados en guías internacionales para plomo de 210 $\mu\text{g/L}$ y cadmio de 40 $\mu\text{g/L}$ (Buchman, 2008). El plomo (Pb) presentó las mayores concentraciones en la bocanoma del río Turbo (5,91 $\mu\text{g/L}$) y la boca del río San Juan (4,10 $\mu\text{g/L}$) para la época seca y en las estaciones del río Currulao (2,09 $\mu\text{g/L}$) y la boca del río Guadualito (2,43 $\mu\text{g/L}$) durante la época de lluvias de 2010, los resultados muestran una tendencia espacial y temporal, y evidencia un incremento durante la época seca frente a la de lluvias, especialmente en las estaciones ubicadas en la zona norte del golfo de Urabá (Figura 4.9-11).

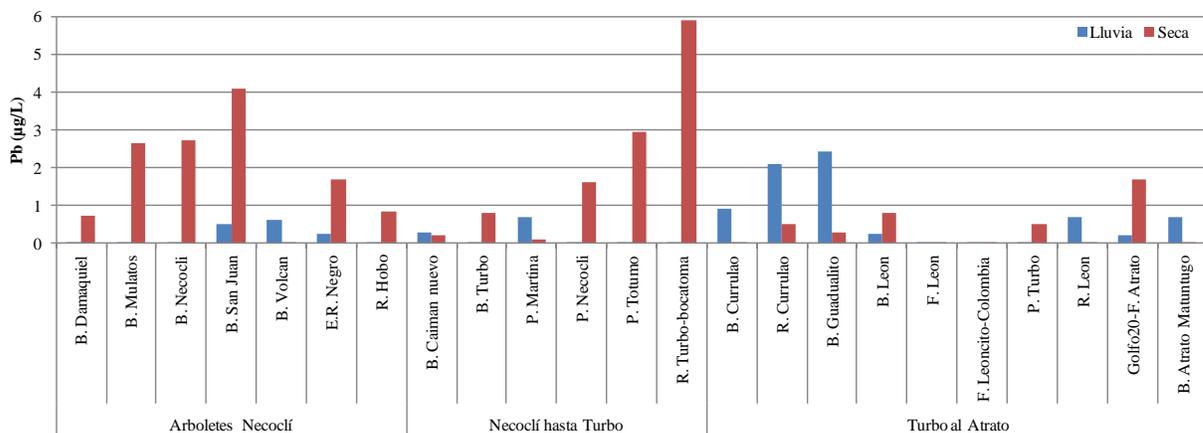


Figura 4.9-11. Concentraciones de plomo (Pb, $\mu\text{g/L}$) medidas en aguas superficiales del departamento de Antioquia, en la época seca y lluviosa de 2010.

La presencia de estos metales pesados a las aguas costeras de esta región, pueden provenir de la actividad minera que se desarrolla en el Caribe chocóano (Barrera *et al.*, 2001), la alta influencia portuaria, de posibles vertimientos desde las lagunas de oxidación existentes en la zona y de residuos de los asentamientos del Golfo de Urabá.

El cadmio (Cd) por su parte, presentó concentraciones por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada en más del 80 % de las estaciones, en ambas épocas climáticas del 2010. Las mayores concentraciones se registraron en las estaciones de la ensenada de Rionegro (0,14 µg/L) y la boca del Atrato Matuango (0,15 µg/L) en la época seca, mientras que en época de lluvias fue en la boca del río Guadualito (0,19 µg/L) y en el río León (0,17 µg/L) donde se registraron en los mayores valores de Cd.

El análisis histórico de estos elementos muestra en general que, las mayores concentraciones promedio de Pb se registraron en la época de lluvias de 2002 (11,71 ± 34,86) y la época seca de 2001 (6,54 ± 8,85 µg/L) con una clara tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo (Figura 4.9-12). En el periodo 2004 a 2010 las concentraciones promedio de Pb han sido menores a 4,11 µg/L, por lo cual se puede afirmar que no existen riesgo de contaminación por este elemento en las aguas costeras de este departamento. Por otra parte, las concentraciones promedio de Cd fueron más altas en la época seca de 2001 (1,65 ± 3,26) y en la de lluvias de 2003 (0,91 ± 0,97 µg/L), sin embargo no hay valores que rebasen la referencia reportada por guías internacionales para efectos agudos en aguas marinas superficiales (40 µg/L, Buchman, 2008) y la tendencia general es a disminuir, ya que a partir de la época seca de 2004 no ha superado los 1,37 µg/L.

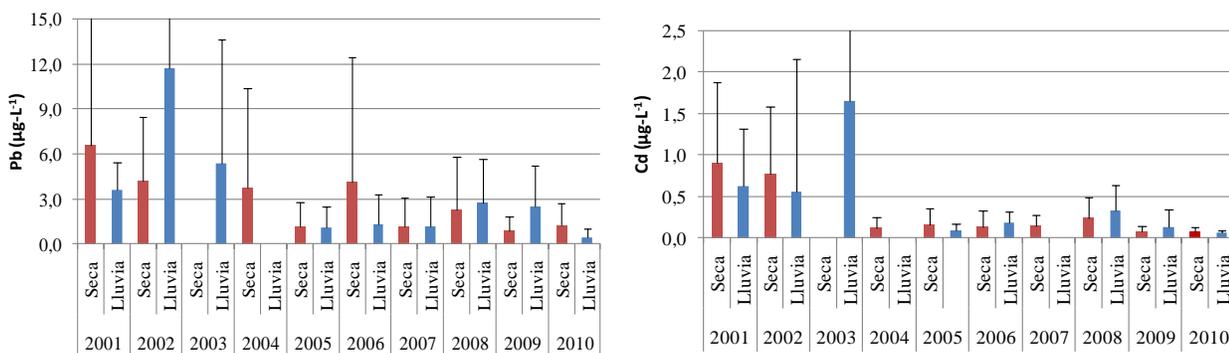


Figura 4.9-12 Comportamiento histórico de la concentración promedio de Plomo (Pb, µg/L) y Cadmio (Cd, µg/L) medidas en aguas superficiales del departamento de Antioquia, en las épocas climáticas lluvias y seca.

4.9.4 Conclusiones

La evaluación de los resultados del monitoreo entre la época lluviosa de 2010 y la época seca de 2011, mostró que la calidad fisicoquímica de las aguas costeras del departamento de Antioquia es afectada por procesos hidrodinámicos del sistema según las condiciones oceanográficas del Golfo de Urabá. En este sentido, la salinidad mostró esa variabilidad, atendiendo a los patrones de circulación de las masas de agua y los procesos de intercambio entre las aguas dulces que son arrastradas por el caudal de los ríos que desembocan al interior del Golfo y la influencia oceánica. De igual forma se presentaron valores inadecuados de oxígeno disuelto en varios sitios que afectan las características de fisicoquímicas del recurso hídrico.

La influencia de las fuertes precipitaciones a finales del 2010 ocasionadas por el fenómeno climático La Niña, fue evidente en algunas concentraciones altas de sólidos suspendidos y nutrientes, generando aguas más turbias y ricas en fósforo en la época lluviosa que la época seca. Durante el muestreo del último período, las fuentes principales de aguas turbias y aguas con altas concentraciones de sólidos suspendidos fueron los ríos San Juan, Guadualito, Currulao y León, aunque el río Atrato sigue siendo la principal entrada de sólidos al Golfo de Urabá. Los impactos por fuentes agrícolas son evidentes en las altas

concentraciones de nitratos encontradas en los ríos, así como también se mantiene el impacto por fuentes domésticas, particularmente por la evidente influencia en la desembocadura del río Volcán donde se encuentran concentraciones muy altas de fósforo y nitrógeno, causando preocupación especialmente por los niveles de nitrito que puede ser tóxicos para la vida acuática.

Las concentraciones microbianas en las playas del departamento mostraron en general, condiciones de calidad deficiente para la realización de actividades recreativas en las dos temporadas climáticas. Aunque por lo general, el impacto es más marcado en la época lluviosa, los datos históricos muestran condiciones de calidad deficiente incluso en la época seca. Esta característica estuvo influenciada por la descarga de los tributarios que desembocan en la zona costera, como los ríos Volcán, Caimán Nuevo, Guadalito, Currulao y León que presentaron calidad inadecuada para el desarrollo de actividades de contacto secundario como la pesca y el riego de frutas y hortalizas.

Por otra parte, en el análisis de metales pesados en aguas superficiales se evidencia una disminución de la concentración de cadmio y plomo a lo largo de los años de monitoreo, debido a que los valores encontrados están muy por debajo de las referencias de guías internacionales como de riesgo y no se demuestran problemas de contaminación por estos metales en las aguas costeras del Golfo.

Costa Pacífica



Estero Jurubidá, Bahía Solano, zona costera del Chocó. Foto: José Sánchez

5 DIAGNÓSTICO REGIONAL COSTA PACÍFICA

Las aguas costeras del Pacífico colombiano para la época de lluvias de 2010 y seca de 2011 presentaron en su mayoría valores de oxígeno disuelto superiores a 4 mg/L, condición que las hace adecuadas para la preservación de flora y fauna según la norma colombiana (Minsalud, 1984), excepto por algunos valores puntuales menores, observados en los ríos Mejicano y Chagui (Nariño) para ambas épocas climáticas, y en los puntos 200 y 213 de la bahía de Buenaventura (Valle de Cauca) en la época seca de 2011, que podría ser un resultado de la demanda de oxígeno requerida por la degradación del material orgánico y de las altas poblaciones de microorganismos que descargan los ríos. Los promedios de salinidad ($25,6 \pm 4,6$) y la temperatura superficial de las aguas marinas ($27,8 \pm 0,6$ °C) son normales para esta región del país, que ubicada a la zona ecuatorial del Océano Pacífico en donde la salinidad y la temperatura del agua varían con el comportamiento anual de las precipitaciones atmosféricas y de la gran afluencia de escorrentías de los ríos, que le otorgan en su mayoría características estuarinas a estas aguas con valores de salinidad entre 0,0 al interior de los ríos y de 32,1 en playas y bahías, tal como se observó en ambas épocas climáticas.

Las mediciones de sólidos suspendidos totales (SST) actuales, en general fueron similares a los promedios históricos de la región, con excepción de las aguas estuarinas y marinas de Nariño que estuvieron por encima en un orden de 69% y 188%, respectivamente (INVEMAR, 2011). Las mayores concentraciones de SST se encontraron en las aguas marinas de Nariño (promedios de $116,2 \pm 38,2$ mg/L) y los ríos de Chocó (promedios de $115,6 \pm 143,5$ mg/L), mientras que las otras aguas de la región Pacífica oscilando en un rango promedio entre 21 y 72 mg/L. No se evidenció una tendencia temporal en los SST de la región, sólo en caso de los ríos de Valle de Cauca y sus desembocaduras los SST estuvieron más altos en la época lluviosa ($65,4 \pm 39,5$ mg/L) que la época seca ($26,4 \pm 19,4$ mg/L).

Se observó variación temporal de nitrógeno y fósforo en el departamento del Cauca con concentraciones elevadas de fósforo reactivo soluble (FRS) y nitrógeno inorgánico disuelto (NID = $\text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$), especialmente en la época lluviosa debido a las escorrentías superficiales. Los niveles de nitrógeno en la forma de NID presentaron sus máximos niveles en los ríos de Chocó y Nariño, con promedios de 123 y 130 µg/L, mientras que las aguas estuarinas y marinas de la región presentaron promedios entre 35 y 75 µg/L y 11 y 38 µg/L, respectivamente. Los datos actuales de NID en el Pacífico son comparables con los datos históricos para la región, con excepción del departamento de Nariño, donde se encontraron reducciones de NID en los ríos, aguas estuarinas y marinas del orden de 57%, 49% y 90%, respectivamente (INVEMAR, 2011).

Los niveles de FRS actuales mostraron algunas diferencias entre departamentos, aunque no fueron diferencias muy marcadas. Las concentraciones promedios en el Valle de Cauca fluctuaron entre 29 y 36 µg/L, mientras que en Chocó y Nariño los promedios estuvieron entre 13 y 21 µg/L, y en Cauca entre 7 y 10 µg/L. En el caso del FRS, se observó muy poca diferencia entre los datos actuales y los promedios históricos para el Pacífico, con la única diferencia marcada en los ríos de Nariño que mostraron concentraciones de FRS en una magnitud de 60% menos que el promedio histórico (INVEMAR, 2011).

Las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal en la región variaron entre épocas, pero con diferencias marcadas sólo en el departamento de Valle del Cauca, donde los coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) fueron superiores entre tres y cinco veces más durante la época de lluvias. En el caso de Nariño y Cauca el comportamiento no dependió de la temporada climática y el rango de coliformes osciló entre 17000 y 16000 NMP/100 mL y entre 18000 y 35000 NMP/100 mL, respectivamente. En el departamento del Chocó, sólo se analizaron los datos de la época de lluvias del 2010 y el rango de coliformes estuvo entre 20000 y 48000 NMP/100 mL. En general, los niveles de coliformes en el Pacífico fueron mayores en aguas fluviales (ríos) y estuarinas, que en aguas marinas, debido a que los ríos reciben una gran cantidad de desechos sólidos y líquidos que aumentan la carga microbiana, pero que en las aguas marinas algunas características como la salinidad, la radiación solar y la

concentración de sólidos juegan un papel fundamental en la supervivencia de los microorganismos y ejercen un acción bactericida (Ortega *et al.*, 2009; Olyphant, 2005; Mallin *et al.*, 2000).

De manera general, los niveles de coliformes en los ríos de la región Pacífico fueron inferiores a los encontrados en los ríos de la región Caribe. Los máximos valores se registraron en el río Potodo (24×10^4 NMP/100 mL) en Valle del Cauca, el río San Juan (48×10^3 NMP/100 mL) en Choco y el río Micay (35×10^3 NMP/100 mL) en Cauca. Es importante notar que los tributarios son empleados para múltiples actividades como recreación, agricultura, pesca y actividades domésticas, pese a que las concentraciones superan recurrentemente los valores permisibles nacionales para el desarrollo de estas actividades (CTT < 5.000 NMP/100 mL, CTE < 200 NMP/100 mL; Minsalud, 1984)

Al igual que los ríos, los cuerpos de aguas marinas y estuarinas se emplean como balnearios por la población local y extranjera, por ello es necesario que cumplan con los requerimientos microbiológicos que garanticen la protección de la salud de los usuarios. Con base a lo anterior, durante el periodo de lluvias del 2010 y época seca del 2011 el departamento que presentó mayor número de casos que sobrepasaron los límites permisibles para la realización de actividades de contacto primario como baño y natación (CTE < 200 NMP/100 mL) fue Valle del Cauca (12/20), en menor proporción se encontró Choco (2/7) y Nariño (1/10). En contraste, las aguas recreativas del departamento de Cauca representadas por la Isla Gorgona, no presentaron ningún caso de riesgo para los bañistas en este periodo. Las playas con mayor concentración de CTE fueron Sala Honda (16×10^3 NMP/100 mL) en Nariño y Frente al Muelle Juanchaco Ladrilleros (66×10^3 NMP/100 mL) y Hotel Bocana (24×10^3 NMP/100 mL) en El Valle del Cauca. La presencia de coliformes en las aguas recreativas supone la presencia de patógenos, capaces de generar enfermedades, que pueden transmitirse durante la natación, el baño y otras actividades de contacto o ingestión involuntaria de agua, y causar variedad de afecciones tales como gastroenteritis, patologías respiratorias, dermatológicas e infecciones en oídos, nariz y garganta (Hose *et al.*, 2005), además los riesgos aumentan cuando el tiempo y número personas expuestas es mayor (OMS, 2003).

Los hidrocarburos por lo general, no superaron el valor de referencia de $10 \mu\text{g/L}$ para aguas contaminadas propuesto por la UNESCO (1984), con excepción de la estación 3 en la bahía de Buenaventura ($15,10 \mu\text{g/L}$), frente al río San Juan ($10,70 \mu\text{g/L}$) y el río Anchicayá ($10,10 \mu\text{g/L}$) en el departamento del Valle del Cauca, en la época de lluvias de 2010. No obstante, el 18% de las muestras analizadas en este periodo en la región sobrepasaron el $1,0 \mu\text{g/L}$, demostrando una entrada constante de estos residuos a la zona costera, a través de la escorrentía de los ríos, como consecuencia del inadecuado manejo de productos del petróleo utilizados en embarcaciones, actividad portuaria, expendios de combustibles, residuos oleosos de aceites de motor y vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales, principalmente.

Los metales pesados (Cd, Pb y Cr) en el Pacífico no presentan un mayor impacto, debido a que las concentraciones están por debajo de los valores referenciados para efectos agudos de la NOAA (Cd: $40 \mu\text{g/L}$ y Pb: $210 \mu\text{g/L}$, Buchman, 2008), y del límite máximo permisible de la legislación de Chile (Cr: $50 \mu\text{g/L}$, CONAMA, 1986). Debido al menor desarrollo industrial de la región Pacífica (comparada con el Caribe), el impacto por contaminantes como los metales pesados, no se deben en su mayoría a la actividad industrial, sino a las actividades de explotación minera y de disposición de aguas residuales (Tejada *et al.*, 2003) y en la región Pacífica, no hay grandes ciudades costeras, solo existen dos áreas portuarias desarrolladas en la Bahía de Buenaventura (Valle del Cauca) y en la ensenada de Tumaco (Nariño), constituyéndose en polos importantes para el desarrollo, que los hace sensibles a la contaminación. En término de magnitudes el departamento de Nariño ha registrado las mayores concentraciones de plomo de la región. Otros departamentos como Cauca y Chocó donde existe un marcado desarrollo de la industria maderera que es importante para la economía, así como la explotación minera, son fuentes significativas de contaminación; pero pese a ello, los niveles de riesgo de contaminación por metales para los ecosistemas costeros de estos dos departamentos son bajos; y la tendencia general de las concentraciones en la región Pacífica es a disminuir a lo largo del monitoreo.

5.1 FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN EN EL PACÍFICO

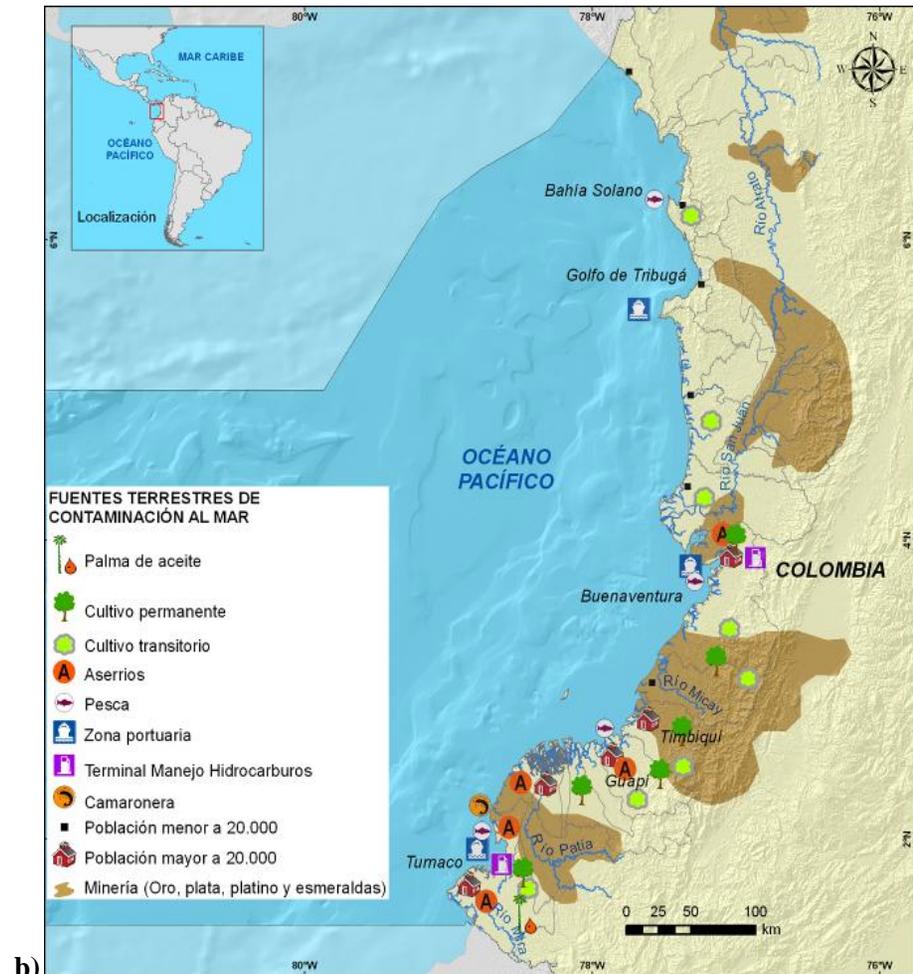
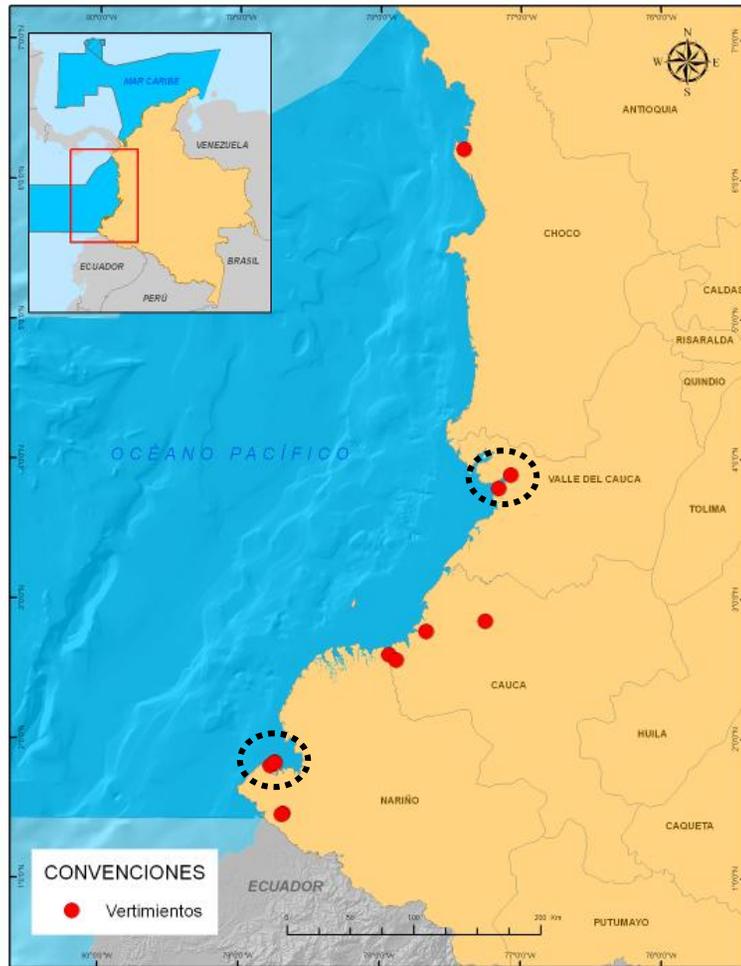
Durante el año 2011 se desarrolló en convenio entre INVEMAR y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) un proyecto para caracterizar y evaluar los vertimientos puntuales a las aguas marinas en Colombia. Los resultados obtenidos proveen información que permitió actualizar el inventario de fuentes terrestres de contaminación asociadas a los efluentes y dinámica socioeconómica de los municipios costeros, en particular del Pacífico.

La región Pacífica se extiende geográficamente entre Punta Ardita en la frontera con Panamá (7°17' N y 77°52' W) hasta bahía Ancón de Sardinias en inmediaciones de la desembocadura del río Mataje en los límites con el Ecuador (1°28' N y 78°46' W) (Posada *et al.*, 2009), y comprende los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño. Los sistemas productivos de esta región se basan en economías de subsistencia y la explotación de la amplia oferta de bienes y servicios ambientales existentes en esta zona (Espinosa, 2010), como las actividades de aprovechamiento de recursos pesqueros (pesca, acuicultura, extracción de mariscos y crustáceos), explotación forestal, agricultura, desarrollo portuario y ecoturismo, que generan múltiples descargas puntuales a ríos y esteros que finalmente llegan a la zona marina y costera.

En la zona costera del Pacífico colombiano, a diferencia del Caribe, es menor el proceso de urbanización y el desarrollo económico el cual está representado sólo en los municipios de Buenaventura (Valle del Cauca) y Tumaco (Nariño), por ello, hay menos focos industriales y puntos de vertido (Figura 5–1).

De acuerdo al inventario actualizado a 2011 con información de las autoridades ambientales competentes (AAC) de los departamentos del Pacífico indican la existencia de por lo menos 56 descargas directas (vertimientos puntuales) o con influencia sobre cuerpos de agua marina. Según la información recopilada, el 25% de los permisos de vertimiento están adjudicados a actividades turísticas como balnearios, hoteles y cabañas, seguidos de vertimientos de sistemas de recolección y/o tratamiento de aguas residuales domésticas (23.21%; Figura 5–2), a pesar que las relaciones porcentuales de este estudio deben manejarse con prevención pues se basan en registros de autoridades ambientales sobre actividades legalmente constituidas y que han tramitado sus permisos según la normatividad colombiana (condición que no se cumple para muchas empresas de la zona), permite afianzar que las aguas residuales domésticas son las mayores fuentes de contaminación antrópica al medio marino en el Pacífico, este dato cobra más relevancia al evaluar que la cobertura de alcantarillado para el año 2010 en la región (sin incluir Valle del Cauca) solo alcanza un 37.7% (DANE, 2010).

La agricultura, la pesca y la camaronicultura ocupan un interesante renglón en la economía de la región (Figura 5–2), desarrollándose de manera intensiva, a nivel industrial y artesanal, principalmente en el área de influencia de Tumaco, Buenaventura y Guapi (Espinosa, 2010). En los últimos años las empresas de camaronicultura y el sector palmícola se han visto afectados por epidemias en sus productos (Virus de la mancha blanca y pudrición del cogollo respectivamente); el departamento de Nariño ha sido de los más afectados por estos casos, donde se han perdido miles de hectáreas de palma por enfermedad, generando reducción de los niveles de producción de las plantas procesadoras de aceite. Esta información es de especial importancia al evaluar los tensores en esta región, dado que históricamente estas fuentes se han catalogado como aportantes de contaminación al mar, y no se esta presentando esta influencia en la actualidad.



a) b) **Figura 5–1. Distribución geográfica de las fuentes terrestres de contaminación al medio marino. (a) Vertimientos reportados por las autoridades ambientales competentes, los círculos negros indican los puntos de mayor concentración de vertimientos reportados al mar.; (b) Usos de tierra y fuentes de contaminación identificadas con información secundaria por REDCAM en el Pacífico colombiano.**

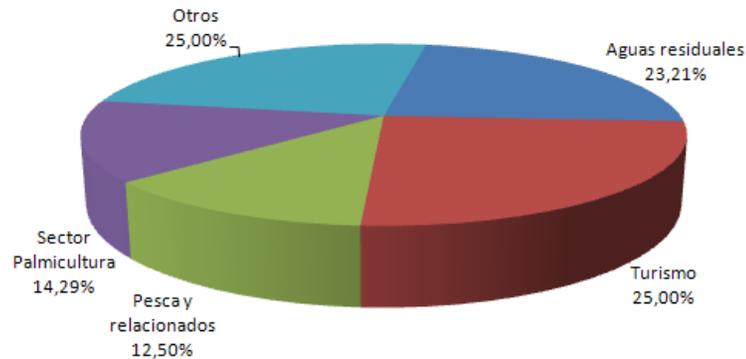


Figura 5–2. Distribución por sectores económicos de los vertimientos puntuales reportados por autoridades ambientales competentes del Pacífico colombiano.

En el Valle del Cauca las actividades productivas se concentran en el municipio de Buenaventura, la mayoría de empresas de la zona se dedican al aprovechamiento y comercialización de productos del pescado y entregan sus efluentes directamente en el mar (Figura 5–3), estas empresas descargan sus aguas por pulsos, cada vez que llega un barco cargado y se procesa el producto se almacenan las aguas residuales en tanques que son vaciados en un momento dado de la jornada, otros vertimientos de importancia corresponden a alcantarillados municipales y las empresas ubicadas en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura.



Figura 5–3. Empresas de aprovechamiento pesquero en el municipio de Buenaventura

En Nariño la gran mayoría de vertimientos al medio marino se concentran en la isla de Tumaco y sus poblaciones aledañas (Figura 5–4), se evidenció en la visita de campo que los barrios cercanos a la estación de Puente El Morro descargan una gran cantidad de vertimientos pequeños correspondientes a actividades de abastecimiento de combustibles para lanchas y pequeñas pesquerías, lo contrario ocurre con las grandes pesquerías cercanas al puente El Morro que poseen salidas de mayor diámetro pero han visto reducida su producción debido al menor rendimiento de los cultivos de camarón por enfermedad; se constató que el terminal de Ecopetrol – Oleoducto Transandino ubicado a la entrada de la isla y

protagonista en 2004 de un derrame, no se encuentra vertiendo a ningún cuerpo de agua pues su sistema de tratamiento quedó sobredimensionado y las piscinas sirven como medida de contención ante alguna emergencia. Al interior del municipio se constató el estado de las empresas palmícolas que han perdido gran capacidad de producción – procesamiento de aceite por pudrición del cogollo y se encuentran implementando un plan de renovación de cultivos por variedades resistentes.



Figura 5-4. Vertimientos puntuales a la bahía interna de Tumaco y esteros aledaños.

En los departamentos de Chocó y Cauca no se registran actividades industriales relevantes sobre la línea de costa, por lo general sus fuentes terrestres antrópicas se reducen a los vertimientos de sistemas de tratamiento de aguas residuales en los centros poblados y zonas turísticas, los cuales son de difícil control por la reducida cobertura en alcantarillado y temas de accesibilidad, se destaca el vertimiento puntual del municipio de Bahía Solano que fue objeto de una visita (Figura 5-5), de igual forma los servicios de transporte fluvial y marino de pasajeros entre las cabeceras municipales y corregimientos y los residuos de explotación minera tierra adentro constituyen fuentes de contaminación a tener en cuenta para estos departamentos. Una de las empresas que históricamente se ha considerado como fuente terrestre de contaminación al medio marino en el departamento del Cauca, Harimar S.A (municipio de Guapi), se encuentra hasta la fecha cerrada por orden de la autoridad ambiental.



Figura 5-5. Vertimientos de aguas residuales domésticas en los municipios de Bahía Solano (Chocó) y Guapi (Cauca).

Diagnóstico de los Departamentos del Pacífico

Chocó



Playa Huina. Foto: José Sánchez

5.2 CHOCO

El Departamento del Chocó está situado al occidente del país, en la región Pacífica chocoana, entre los 04° 05' y 08°40' de latitud norte y los 75° 50' y 77° 55' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 46530 Km² que tiene clima cálido en un 92%, templado en 6.4% y el resto entre frío y muy frío (IGAC, 2008). Los principales ríos que desembocan en el litoral Pacífico son San Juan, Jella, Valle y Nuquí; además. La red de 19 estaciones de muestreo, cinco fluviales, seis estuarinas y ocho playas ubicadas en la extensión central del departamento donde es fácil el acceso, que incluye Bahía Solano hasta el río Nuquí y en el sur las estaciones del río San Juan (Figura 5.2.1).

La calidad de las aguas marino costeras del departamento de Chocó (Pacífico) se encuentran influenciada por los ríos que desembocan en litoral, los cuales realizan importantes aportes de sólidos suspendidos, nutrientes inorgánicos y coliformes totales y termotolerantes, especialmente por las descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento que realizan las poblaciones ribereñas. En el muestreo de la época de lluvias de 2010 las estaciones ubicadas en las playas de Bahía Solano Esso y Tribuga no fueron aptas para realizar actividades de contacto primario y secundario. Las concentraciones de hidrocarburos no sobrepasaron el valor de la norma internacional, siendo los ríos San Juan y Jella y la playa Esso los que realizan los mayores aportes relacionado con las actividades marítimas y venta de combustibles. Las concentraciones de metales pesados se encuentran por debajo de la normativa internacional de los valores de referencia para aguas no contaminadas para la preservación de flora y fauna.

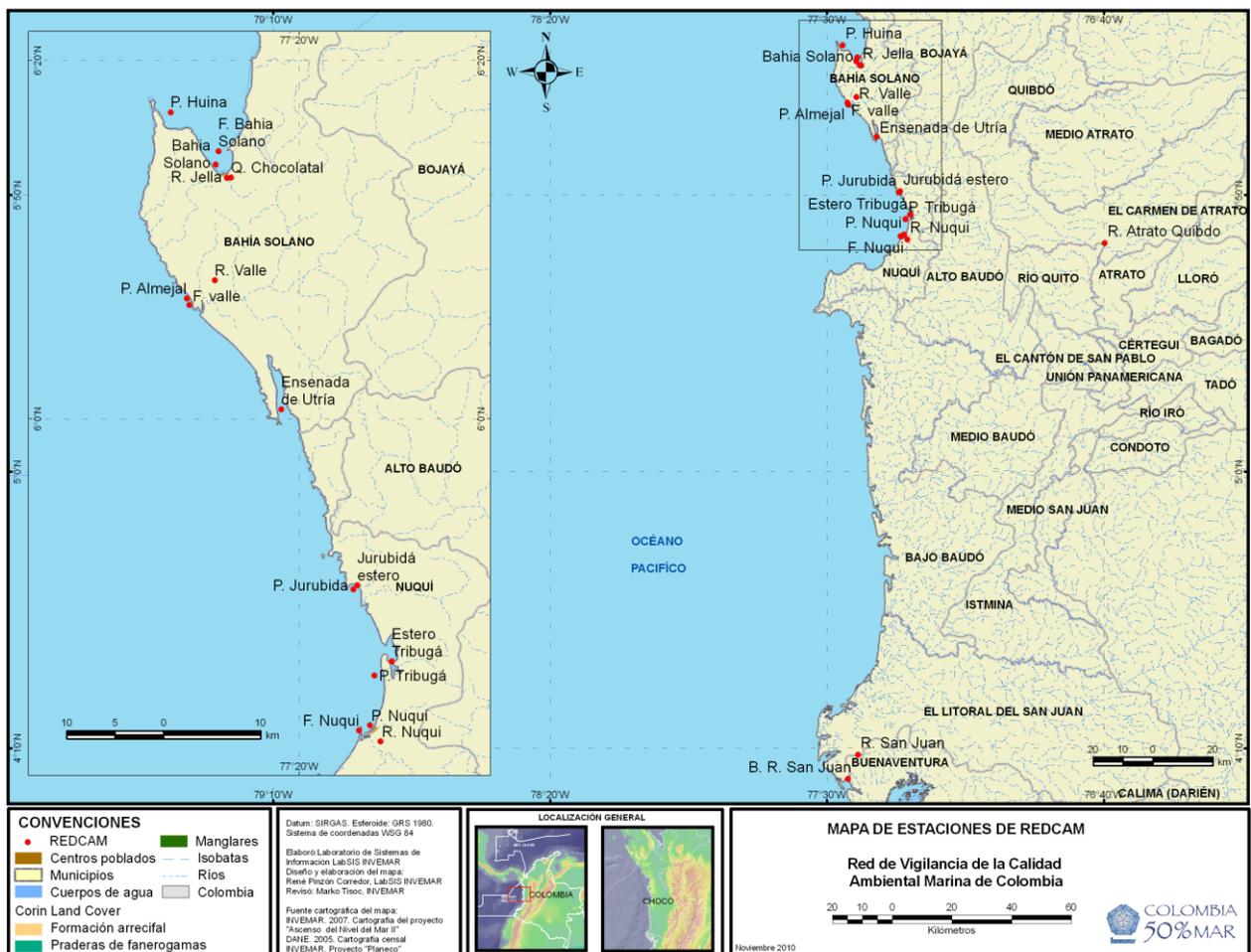


Figura 5.2.1. Estaciones de muestreo REDCAM en el departamento del Chocó.

5.2.1 Variables Fisicoquímicas

5.2.1.1 *In situ*

Las aguas costeras y de los ríos presentaron valores de oxígeno disuelto entre 5,0 y 7,55 mg/L, y de pH entre 6,78 y 8,55, los cuales están dentro del límite de calidad del agua permisible para conservación de flora y fauna según la legislación colombiana (OD: $\geq 4,0$ mg/L; pH: 4.5 – 9.0; *Minsalud, 1984*), aunque las concentraciones más bajas de OD se hallaron en el estero Tribugá (5,0 mg/L) y la playa de Bahía Solano ESSO (5,5 mg/L) no son valores de riesgo (Figura 5.2.2).

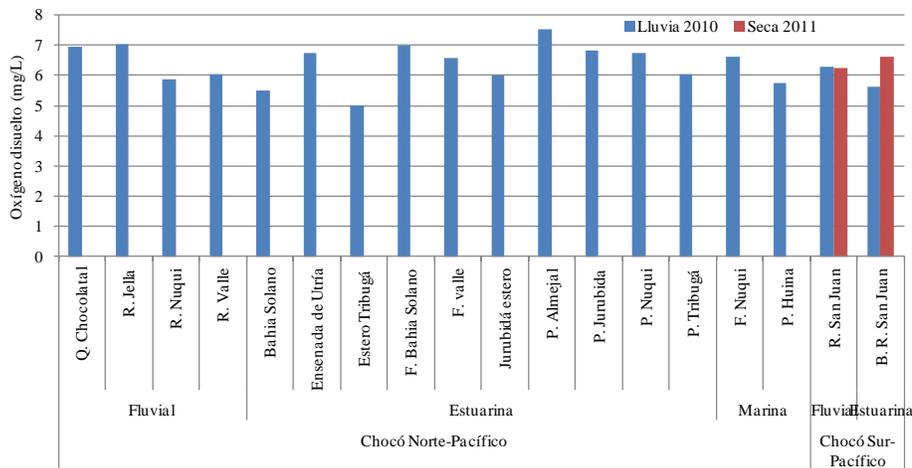


Figura 5.2.2. Comportamiento del oxígeno disuelto (mg/L) en aguas superficiales del departamento del Chocó, en la época lluviosa de 2010 y seca 2011.

La salinidad presentó variaciones entre los tipos de aguas, con promedio de 0,0 para los ríos, promedio de $17,5 \pm 6,8$ en aguas estuarinas, y de $12,4 \pm 15$ en agua marina. Estas diferencias de salinidad demuestran la influencia del régimen de mareas e intercambio de masas de aguas (dulces y salinas) en esta zona que les otorga características estuarinas por la zona de mezcla, y estos valores de salinidad están dentro del promedio histórico para los diferentes tipos de aguas en este departamento ($1,36 \pm 14$ en aguas dulces, $19,8 \pm 14$ en aguas estuarinas y $24,9 \pm 14$ en aguas marinas). Por otro lado, la temperatura superficial promedio del agua fue de $26,4 \pm 1,3$ °C correspondiente con el promedio histórico de $27,0 \pm 1,2$ °C.

5.2.1.2 *Sólidos y Nutrientes*

Los sólidos suspendidos totales (SST) en la época lluviosa de 2010, fluctuaron entre 15 y 45 mg/L, presentando los valores más altos en las aguas estuarinas y marinas, lo cual puede deberse a los aportes de los ríos y la alta acción de oleaje típica de la costa Pacífica. Los ríos tuvieron valores inferiores a 22 mg/L, con excepción del río San Juan con 217 mg/L aguas arriba y 74,5 mg/L en su desembocadura. Aunque en la actualidad este río mostró los valores más altos de SST, no es una tendencia histórica, ya que el máximo se encuentra cada año en un río diferente, dependiendo de las condiciones hidrológicas específicas del día de muestreo. Igual que los SST los valores más altos de turbidez se registraron en las estaciones del río San Juan (fluvial: 342 NTU y su desembocadura: 135 NTU), mientras que demás estaciones presentaron un rango entre 0,6 – 25,2 NTU. Contrariamente al resultado de SST, los valores más altos de turbidez se encontraron en los ríos mientras las aguas estuarinas y marinas tuvieron concentraciones por debajo de 4 NTU. Este resultado muestra las diferencias entre los parámetros turbidez y SST; aunque son parecidos, la turbidez depende de la densidad de partículas en el agua reduciendo la transmitancia de luz, mientras que SST depende de masa de las partículas. Los valores de turbidez en el río San Juan históricamente han fluctuado (promedio: $143,1 \pm 101,2$ NTU) mostrando la alta variación temporal típico de los ríos.

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), en términos de nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) y amonio (NH_4), mostraron variaciones espaciales (Figura 5.2.3), presentándose las más altas en el río San Juan arriba con valores de 619,8 $\mu\text{g/L}$ y de 1200,4 $\mu\text{g/L}$ en su desembocadura. Los demás ríos mostraron niveles altos de nitrato, que puede ser representativo de varias fuentes posibles de contaminación en las tierras que estos ríos drenan, como las aguas residuales domesticas igual como zonas agrícolas. Mientras que las concentraciones más altas de nitritos se presentaron en el río San Juan con un porcentaje de NID entre el 85-95%. Las concentraciones altas de NO_2 no son frecuentes e históricamente el río tiene promedios de $7,5 \pm 7,9 \mu\text{g/L}$ y de $17,8 \pm 27,5 \mu\text{g/L}$ en su desembocadura (INVEMAR, 2011). Las altas concentraciones de NO_2 pueden deberse a la descomposición de una carga alta de material orgánica.

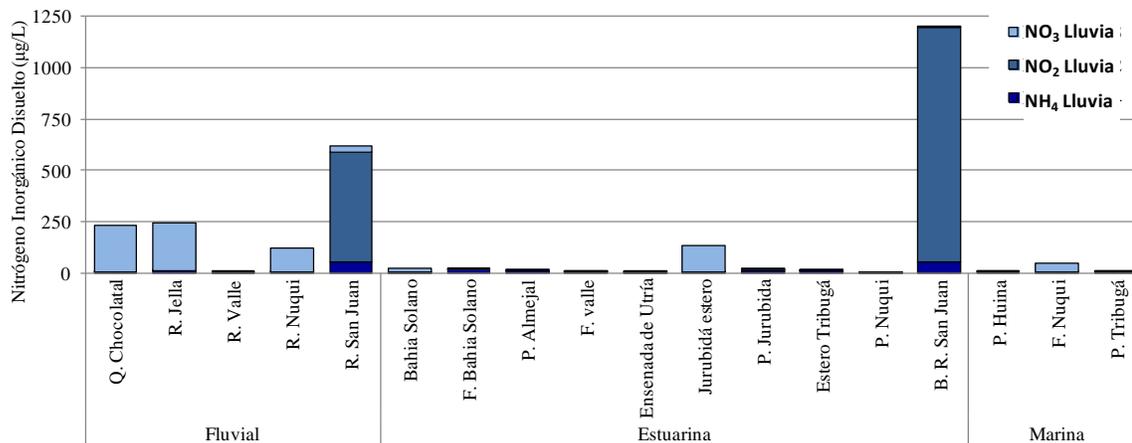


Figura 5.2.3. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto ($\mu\text{g/L}$) en las formas de amonio (NH_4), nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3) en aguas superficiales del departamento de Chocó, en la época lluviosa 2010.

Las concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS) en las aguas costeras fueron generalmente entre 5 – 45 $\mu\text{g/L}$, registrando las concentraciones más altas en los ríos San Juan y Nuquí, y sus aguas receptoras (Figura 5.2.4). No se evidencia una diferencia marcada entre el FRS en los diferentes tipos de agua. Las concentraciones actuales de FRS encontradas en los ríos San Juan y Nuquí son comparables con sus promedios históricos, $50,4 \pm 13,6$ y $60,4 \pm 54,8 \mu\text{g/L}$, respectivamente y el promedio histórico de los ríos del Chocó ($45,4 \pm 40,1 \mu\text{g/L}$; INVEMAR, 2011).

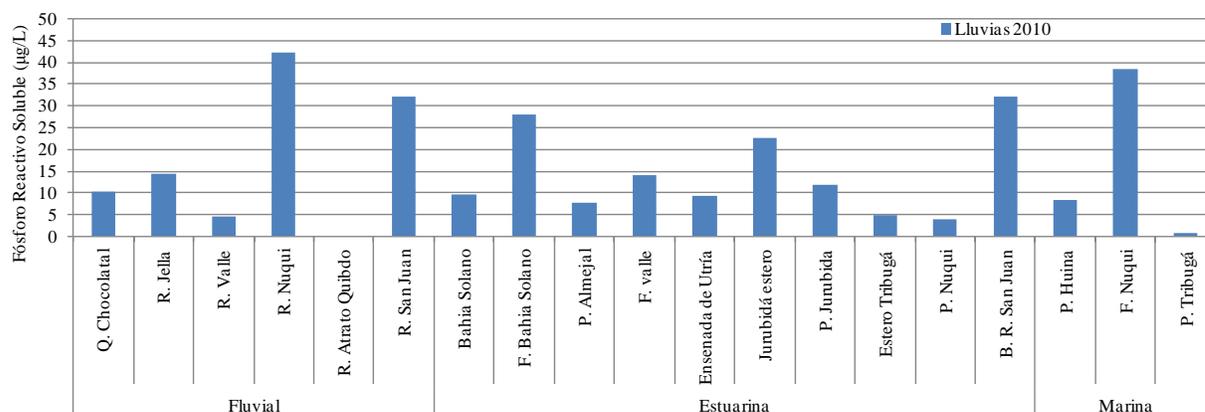


Figura 5.2.4. Concentraciones de fósforo reactivo soluble ($\mu\text{g/L}$) medidos en estaciones de aguas superficiales de Chocó en la época lluviosa 2010.

5.2.1 Contaminación Microbiológica

El análisis microbiológico de este departamento sólo contiene la información del periodo de lluvias del 2010. Durante esta época las concentraciones de coliformes totales (CTT) fluctuaron entre 20 – 48.000 NMP/ 100 mL y las de termotolerantes (CTE) entre 20 a 9.000 NMP/ 100 mL. Los niveles de microorganismos indicadores de contaminación fecal fueron superiores en los cuerpos de agua fluvial conformados por los ríos Jella, Valle, San Juan y Quebrada Chocolatal (Figura 5.2.5). Teniendo en cuenta el nivel de coliformes totales, las aguas superficiales de los ríos Jella y San Juan presentaron condiciones no aptas para el desarrollo de actividades de contacto secundario como la pesca y para el riego de hortalizas de tallo corto (CTT > 5.000 NMP/ 100 mL; [MINSALUD, 1984](#)). Desde el año 2002, el río Jella ha sido el afluente con mayores concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal en el departamento, con un máximo de CTT y CTE de 540.000 NMP/ 100 mL, de tal modo que los datos obtenidos en la época de lluvias del 2010 se encuentran dentro del rango histórico. La contaminación microbiana en los ríos es principalmente por las descargas de aguas residuales de las poblaciones cercanas ([Abraham, 2011](#)), especialmente en lugares con baja cobertura de alcantarillado como el departamento de Choco, donde sus poblaciones no superan el 35 % de cobertura ([Troncoso *et al.*, 2009](#)).

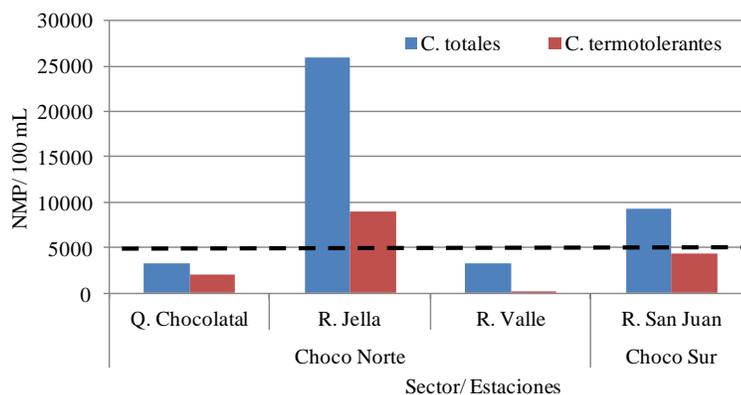


Figura 5.2.5. Concentración de coliformes totales y termotolerantes en aguas superficiales de los ríos del departamento de Chocó durante la época lluviosa del 2011. La línea punteada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto secundario, actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto (Coliformes totales, 5000 NMP/100 mL)

Con referencia a los cuerpos de agua de uso recreativo, sólo las estaciones localizadas en los balnearios de playa Tribuga y Bahía Solano presentaron concentraciones de CTE superiores a los límites establecidos en la legislación nacional para actividades como baño y natación (CTE > 200 NMP/100 mL). Condiciones similares se observaron para actividades de contacto secundario, como los deportes náuticos, donde se encontró que todas las estaciones presentaron condiciones favorables para su desarrollo.

5.2.2 Hidrocarburos

En la época de lluvias de 2010 los valores más altos de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos - HDD se registraron en las estaciones ubicadas en La Boca del río San Juan (4,80 µg/L) y el río Jella (2,06 µg/L), mientras que en la época seca del 2011, solo se monitorearon las estaciones río San Juan (0,66 µg/L) y Boca del río San Juan (0,37 µg/L). Estas concentraciones posiblemente se deben al transporte marítimo, turismo, aguas servidas y expendios de combustibles en la zona, los cuales no superan el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas propuesto por la [UNESCO \(1984\)](#) (Figura 5.2.6).

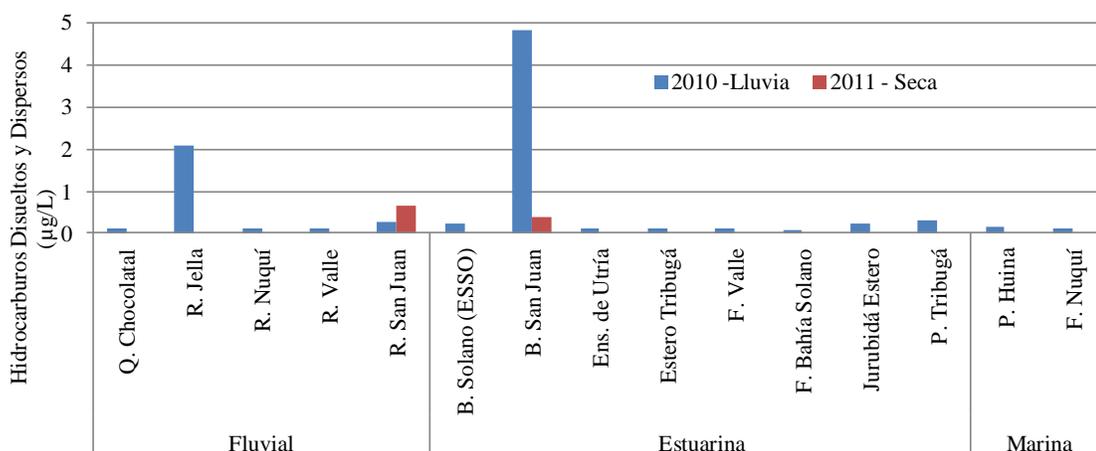


Figura 5.2.6. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) medidas en aguas superficiales de Chocó, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

El análisis de HDD en este departamento se inició en el 2001 hasta la actualidad, siendo los ríos San Juan, Jella, Valle y Nuquí los que realizan los mayores aportes de este contaminante a la zona costera del departamento mostrando en la época de lluvias un ligero aumento debido al lavado de los suelos de las cuencas de estos tributarios. En la época seca de 2001, la estación Bahía Solano Esso con una concentración de 13,88 µg/L superó el valor de referencia de 10 µg/L y en la época de lluvias del 2003 en la estación Frente a Bahía Solano 13,95 µg/L, estos valores se deben posiblemente a la actividad portuaria, transporte marítimo y expendios de gasolina. Después de 2003 las concentraciones de HDD detectadas en aguas superficiales han estado por debajo del valor de referencia para aguas contaminadas.

5.2.3 Metales Pesados

En el departamento del Chocó no se han realizado estudios anteriores a REDCAM que permitan evaluar el impacto de contaminantes como los metales pesados en las aguas costeras, los resultados obtenidos a partir del proyecto REDCAM constituyen el primer acercamiento del comportamiento de este tipo de contaminantes en las aguas costeras.

Los análisis de los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) en las aguas superficiales marino costeras del departamento del Chocó, entre la época seca y de lluvias de 2010, estuvieron muy por debajo de los niveles de riesgo para efectos agudos en aguas marinas referenciados en guías y normas internacionales (Pb 210 µg/L, Cd 40 µg/L y Cr 50 µg/L, Buchman, 2008; Conama, 1986). En general el Pb fue el elemento que ha presentado las mayores concentraciones ($3,04 \pm 0,83$ y $1,18 \pm 1,05$ µg/L en la época seca y de lluvias, respectivamente) de los elementos analizados, las mayores concentraciones se registraron en las estaciones R. Valle (4,27 µg/L) y bahía Solano (3,83 µg/L) durante la época seca y en las estaciones bahía Solano (3,22 µg/L) y R. Valle (3,01 µg/L) en la época de lluvias de 2010, se evidencia que las mayores concentraciones de este elemento durante el periodo analizado se registraron en la época seca (Figura 5.2.7).

En el periodo época seca y de lluvias de 2010, la concentración de cadmio (Cd) en todas las estaciones estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada. En cuanto a el cromo (Cr) se registraron valores en las estaciones Estero Jurubidá (0,93 µg/L) y río Jella (0,86 µg/L) en la época de lluvias de 2010, mientras en la época de seca de 2011 todas las concentraciones estuvieron por debajo del

límite de detección de la técnica analítica utilizada, lo cual indica un bajo riesgo para el ambiente marino costero por metales pesados.

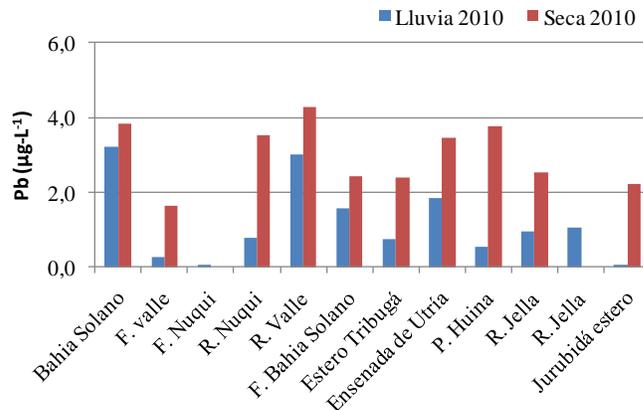


Figura 5.2.7. Concentraciones de plomo (Pb, µg/L) medidas en aguas superficiales del departamento del Chocó, en la época seca y de lluvias de 2010.

Durante el monitoreo REDCAM en el departamento del Chocó se han analizado estos elementos desde la época seca de 2001, en general se evidencia una tendencia a disminuir las concentraciones de Pb y Cd a lo largo del monitoreo. Las mayores concentraciones promedio de plomo se registraron en la época de seca de 2002 y en la de lluvias de 2003 (49,2 + 3,3 y 24,4 + 10,6 µg/L, respectivamente), en general se evidencia una tendencia a disminuir en la concentración promedio de este elemento en las aguas costeras del departamento (Figura 4.1.8), sin embargo durante el monitoreo no se han registrado valores que rebasen el nivel de riesgo para este elemento (210 µg/L, Buchman, 2008). Por otra parte las mayores concentraciones promedio de Cd se registraron en la época seca de 2002 y época de lluvias de 2009 (2,02 + 0,13 y 3,30 + 0,36 µg/L, respectivamente), sin embargo no se han registrado valores que rebasen al reportado por guías internacionales para efectos agudos en aguas marinas superficiales (40 µg/L, Buchman, 2008), en general las concentraciones de este elemento han mostrado una tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo, a excepción de la época de lluvias de 2009 donde se incremento la concentración de este elemento en la mayoría de estaciones (Figura 5.2.8), no obstante estos valores se mantienen muy por debajo del valor de riesgo para aguas marinas.

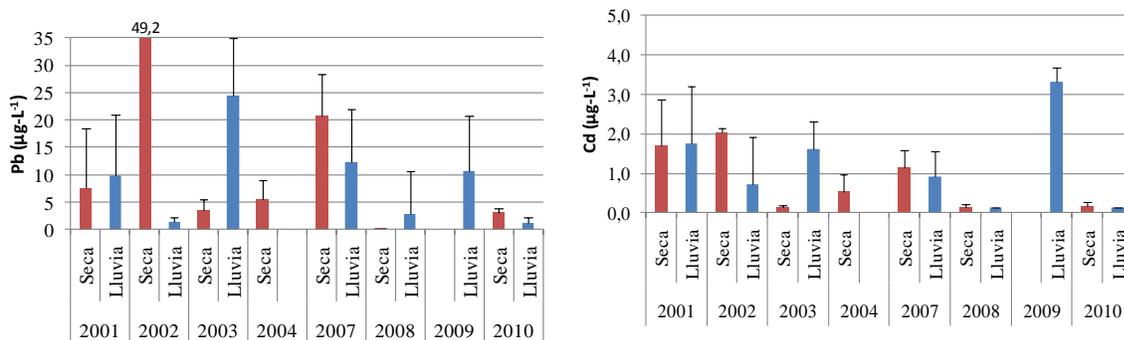


Figura 5.2.8. Comportamiento histórico de la concentración promedio de Plomo (Pb, µg/L) y Cadmio (Cd, µg/L) medidas en aguas superficiales del departamento del Chocó, en las épocas climáticas lluvias y seca.

A nivel histórico se evidencia que las concentraciones de Cr no ha presentado una tendencia marcada a lo largo del monitoreo, las mayores concentraciones se registraron en la época seca de 2007 y en la época de lluvias de 2009 (1,58 + 2,09 y 3,69 + 6,29 µg/L, respectivamente), no obstante estas concentraciones están muy por debajo de los valores de riesgo referenciado en normatividad internacional (50 µg/L,

Conama, 1986), no se evidencian problemas de contaminación por este elemento en las aguas costeras del departamento del Chocó. A pesar que los niveles de concentración de metales pesados registrados en las aguas costeras de este departamento no rebasan los criterios establecidos para su evaluación, se prevé que su permanencia en el medio, esta favorecida en gran medida por las actividades mineras desarrolladas en la cuenca de los principales ríos de la región, en las cuales se emplean variados métodos de explotación que posibilitan fenómenos de remoción que favorecen el aumento en la concentración de los metales, como en el caso de la extracción de oro (Figura 5.2.9).

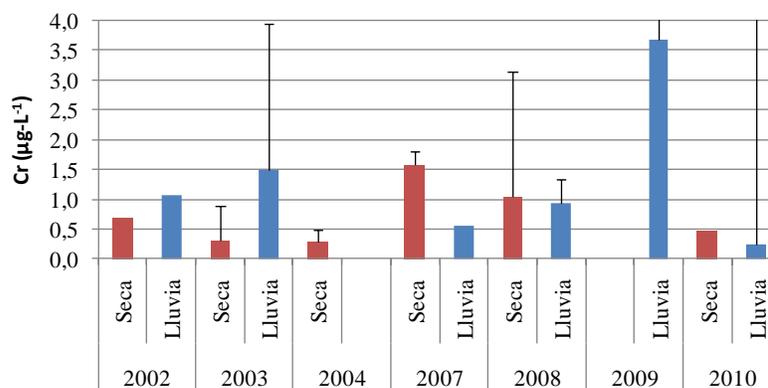


Figura 5.2.9. Comportamiento histórico de la concentración promedio de cromo (Cr, µg/L) medidas en aguas superficiales del departamento del Chocó, en las épocas climáticas lluvias y seca.

5.2.4 Conclusiones

Las concentraciones de oxígeno disuelto y pH en las aguas superficiales marinas y costeras del Chocó estuvieron dentro del límite permisible para preservación de especies hidrobiológicas, según la legislación colombiana. Las concentraciones de SST, turbidez, NID y FRS de las aguas marinas y costeras de Chocó en la época lluviosa 2010 fueron parecidos a sus niveles históricos, con la excepción de estaciones del río San Juan que en este año tuvieron concentraciones de SST, turbidez y NID mucho más altas que las otras estaciones. La variación temporal observada en los datos históricos de los ríos muestra que varios ríos del departamento tienen la potencial para generar concentraciones de sedimentos y nutrientes altas y el caso del Río San Juan de este año se debería a las condiciones específicas del día de muestreo. No incluyendo el Río San Juan, las aguas estuarinas y marinas tuvieron los niveles de SST más altos, mientras que los ríos tuvieron los niveles más altos de turbidez y NID.

Las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal registradas en la época de lluvias del 2010 indican que las aguas superficiales de los ríos Jella y San Juan presentaron condiciones insuficientes para el desarrollo de actividades de contacto secundario, en tanto que las playas Tribuga y Bahía Solano mostraron condiciones inadecuadas para el desarrollo de actividades de contacto primario como baño y natación, de acuerdo a los criterios establecidos en la legislación nacional. En la actualidad las concentraciones de HDD en aguas son muy inferiores al valor de referencia (<10 µg/L) para aguas contaminadas. En el análisis de metales pesados en aguas superficiales del departamento del Chocó, se evidencia una disminución de la concentración de Cd y Pb a lo largo del monitoreo, los valores encontrados están muy por debajo de los valores referenciados en guías internacionales como de riesgo, así mismo los valores de cromo, no se evidencian problemas de contaminación por estos metales en las aguas costeras del departamento. Por otra parte se evidencia un leve aumento en la época de lluvias de 2009 en la concentración de Cd y Cr, influenciado especialmente por las estaciones ubicadas en el sector Norte del departamento (límite con Panamá hasta Cabo Corrientes).

Valle del Cauca



Faro Bahía de Buenaventura. Foto José Sánchez

5.3 VALLE DEL CAUCA

El Departamento del Valle del Cauca está situado en el occidente del país, en la región del Chocó biogeográfico entre los 03° 05' y 05° 10' de latitud norte y los 75° 45' y 77° 36' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 22140 Km² que se encuentran ubicados en clima templado (52.4%), cálido (25.1%) y el resto entre frío y extremadamente frío. Las principales descargas de aguas continentales a la zona costera del departamento las constituyen los ríos Naya, Anchicayá, Naya, Raposo, San Juan, Potedó y Raposo (IGAC, 2008). La red de 52 estaciones de muestreo 30 en la Bahía interna de Buenaventura, 9 en las bocas y frentes de los ríos, 4 en los ríos y 11 en las playas, ubicadas desde el río Raposo, hasta la desembocadura del río San Juan (Figura 5.3–1).

La calidad de las aguas marino costeras del departamento del Valle del Cauca se encuentran influenciada por los ríos que desembocan en litoral, las aguas residuales domésticas e industriales que realiza el municipio de Buenaventura y el Puerto marítimo, que realizan importantes aportes de sólidos suspendidos, nutrientes inorgánicos y coliformes totales y termotolerantes. En el muestreo de la época de lluvias de 2010 las playas no fueron aptas para realizar actividades de contacto primario y secundario y en la época seca de 2011 solo las playas ubicadas frente a la bocana y en el puente Juanchaco – Ladrilleros no fueron aptas para este tipo de actividad. Las concentraciones de hidrocarburos no sobrepasaron el valor de la norma internacional, siendo los ríos Anchicaya, Potedo y Raposo los que realizan los mayores aportes relacionados con las actividades marítimas y venta de combustibles.

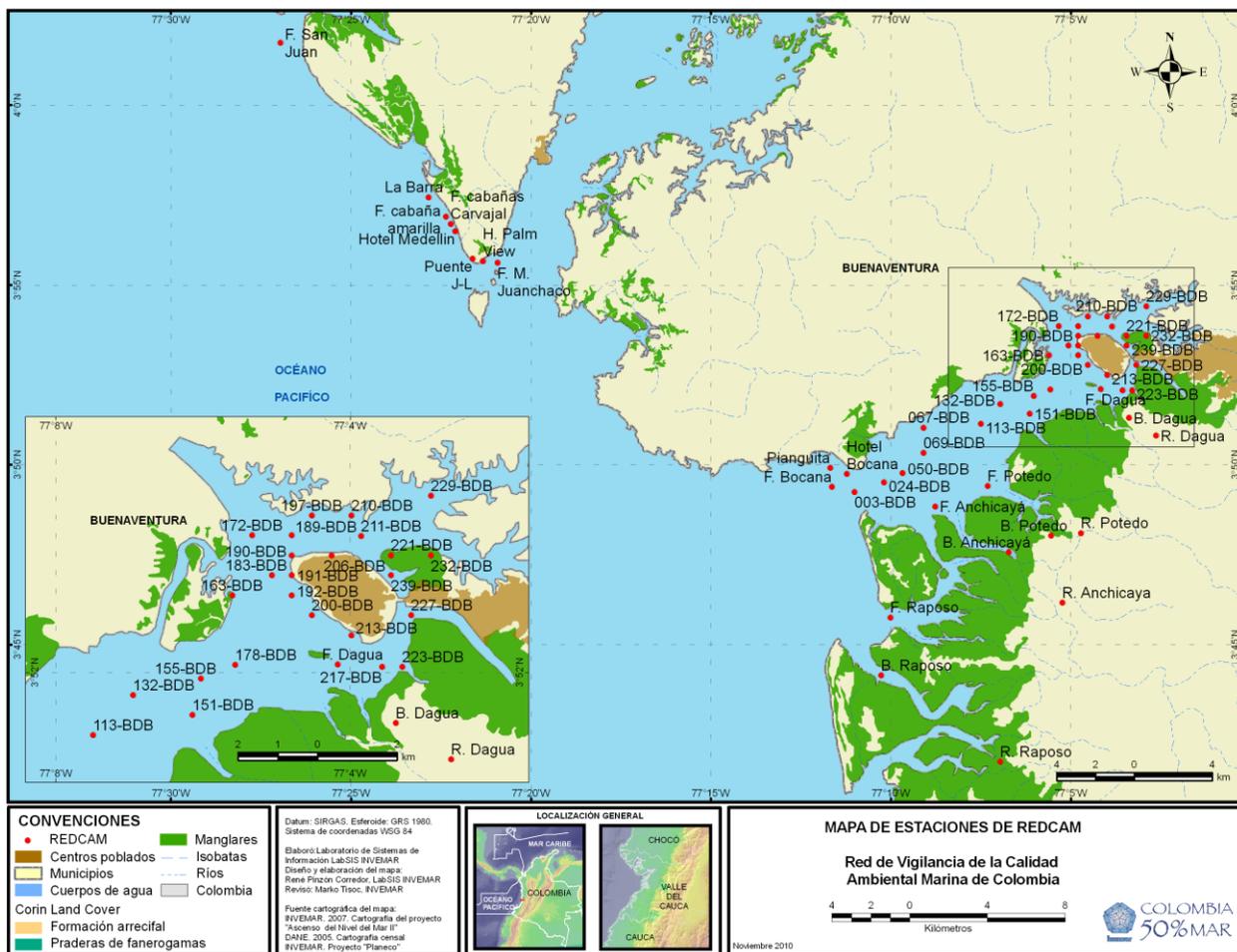


Figura 5.3–1. Estaciones de muestreo en el departamento de Valle de Cauca

5.3.1 Variables Fisicoquímicas

5.3.1.1 *In situ*

En la época de lluvias 2010 y la época seca 2011 se observaron variaciones en las aguas costeras del Valle del Cauca. La concentración de oxígeno disuelto (OD) en los ríos y las aguas estuarinas fueron adecuadas para la preservación de flora y fauna según la norma colombiana ($\geq 4,0$ mg/L; Minsalud, 1984). Las variaciones de OD entre épocas climáticas fue mínima, sin embargo, en la época seca de 2011 las estaciones 200 y 213 de la bahía interna de Buenaventura fueron inferiores al límite permisible, posiblemente por las escorrentías continentales, descargas de aguas residuales domésticas y de la industria pesquera cercana, así como por la influencia de zonas de manglar y la resuspensión de materia orgánica que se presenta en estos sitios. Es de resaltar que históricamente la estación 213 de la bahía ha presentado valores de OD por debajo de la norma en un 28% de los monitoreos con un rango entre 3,01 y 8,10 mg/L (Figura 5.3–2).

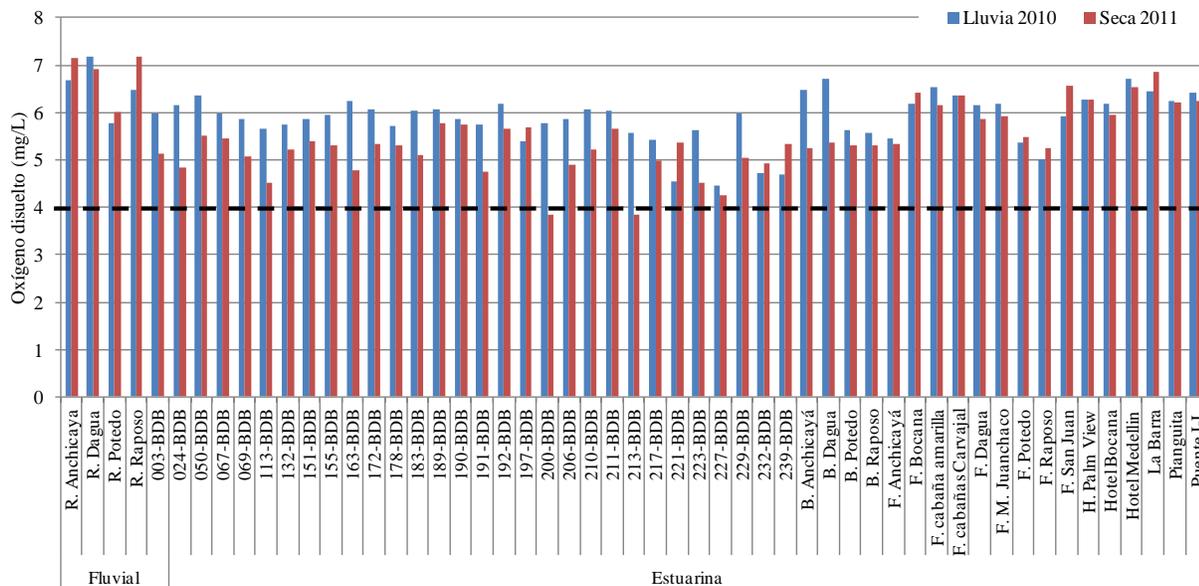


Figura 5.3–2. Comportamiento del oxígeno disuelto en aguas superficiales del departamento del Valle del Cauca, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

El valor pH en la época lluviosa de 2010 osciló entre 5,35 y 8,42, con pH más ácidos en la bahía de Buenaventura (aguas estuarinas; Figura 5.3–3) con un promedio de $5,96 \pm 0,90$, debido a la influencia de los ríos que desembocan en la bahía de Buenaventura y posiblemente a la influencia del evento La Niña, que incrementó las precipitaciones entre 10 – 40% del promedio histórico para la época (IDEAM, 2011). El pH en los ríos en promedio fue de $6,81 \pm 0,40$ valores típicos para este tipo de aguas. En la época seca del 2011 los valores de pH oscilaron entre 5,94 y 8,29, con los valores más bajos en las aguas fluviales con un promedio de $6,81 \pm 0,40$, seguido del promedio de las aguas estuarinas de $7,63 \pm 0,17$ y las marinas con $8,17 \pm 0,05$ (Figura 5.3–3). Estos valores estuvieron dentro del límite permisible por la legislación colombiana de 4,5 – 9,0 para preservación de flora y fauna.

Las aguas costeras del departamento durante el periodo de estudio presentan promedios de salinidad de $12,3 \pm 5,2$ comportándose como un sistema estuarino, encontrando los valores más bajos en la época de lluvias de 2010 debido de los ríos que desembocan en la zona costera y al régimen de mareas, cuyo rango de variación en la costa Pacífica colombiana es de aproximadamente 3.7 m (Troncoso et al., 2009). No

obstante, los valores de salinidad se encontraron dentro del rango o variación histórica de esta variable en las aguas costeras del departamento ($9,7 \pm 14,0$; INVEMAR, 2011).

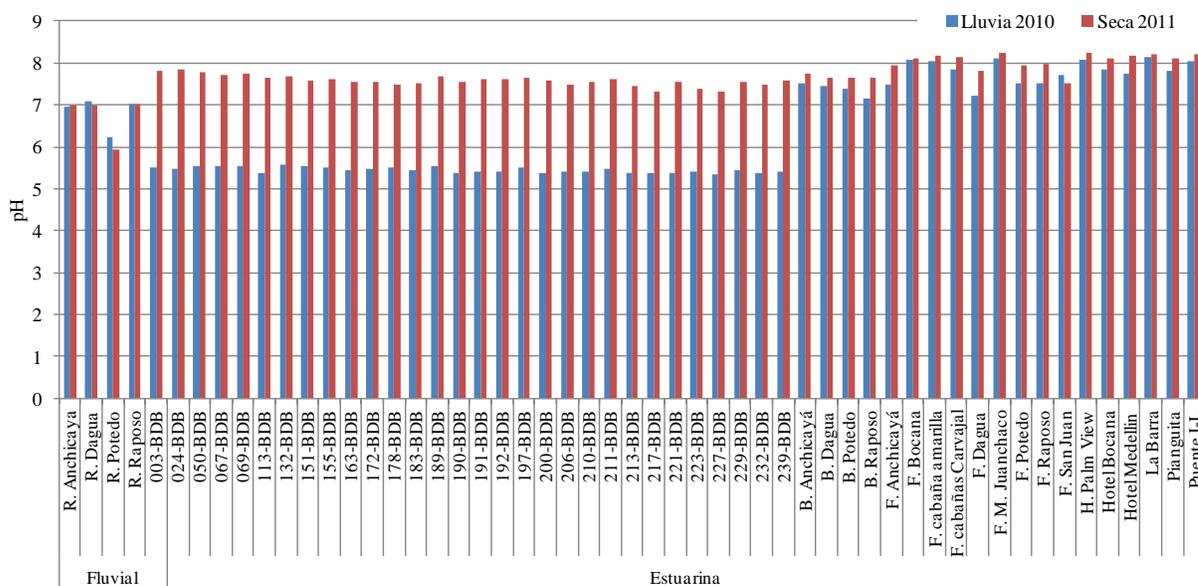


Figura 5.3–3. Comportamiento del pH en aguas superficiales del departamento del Valle del Cauca, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

La temperatura superficial de las aguas osciló entre 23,9 y 28,3 °C para la época lluviosa 2010 y entre 24,6 y 29,7 °C durante la época seca 2011. Espacialmente se observó como tendencia valores de temperaturas más bajas para el grupo de estaciones fluviales, tanto para la época lluviosa como para la época seca. Así mismo, se observó que temporalmente hubo aumento en la temperatura del agua, desde la época lluviosa de 2010 hacia la época seca de 2011. Los cambios temporales observados reflejan la influencia de los patrones de corrientes superficiales que caracteriza a la región del Pacífico los cuales a su vez responden al sistema dominante de los vientos planetarios, determinados por el desplazamiento del cinturón de convergencia intertropical (Tejada *et al.*, 2003).

5.3.1.2 Sólidos y Nutrientes

Los valores de sólidos suspendidos totales (SST) del agua superficial del departamento de Valle de Cauca en el período de estudio presentaron variaciones entre la época lluviosa 2010 y la seca 2011, respecto a la zona geográfica (Figura 5.3–4). En las aguas estuarinas de la bahía de Buenaventura, las concentraciones fueron más altas en la época seca ($32,8 \pm 17,7$ mg/L) que en la época lluviosa ($19,4 \pm 9,6$ mg/L), mientras que en los ríos y sus desembocaduras se observó una diferencia contraria y más marcada ya que los SST estuvieron más altas en la época lluviosa ($65,4 \pm 39,5$ mg/L) que en la época seca ($26,4 \pm 19,4$ mg/L). Espacialmente, no se encuentra una gran diferencia entre las zonas durante la época seca, pero en la época de lluvias las concentraciones son mucho más altas en la zona de los ríos y sus desembocaduras ($65,4 \pm 39,5$ mg/L) que en la bahía ($19,4 \pm 9,6$ mg/L). Este resultado probablemente se debe a las precipitaciones durante la época lluviosa que generan escorrentía en los ríos, llevando altas cantidades de sedimentos al mar. Las concentraciones más bajas en la bahía se deben probablemente a la dilución pero hay también a la posibilidad de un efecto temporal, como los ríos se muestrearon 2 días después de la bahía, es posible que un evento de escorrentía empezara entre estos 2 días. Los datos actuales son similares a los datos históricos de SST, los cuales presentan un promedio de $23,4 \pm 31,2$ mg/L, mientras que en los ríos se han

presentado rangos de SST entre 85 - 100 mg/l en las épocas lluviosas de 1998, 2001 y 2008 (INVEMAR, 2011).

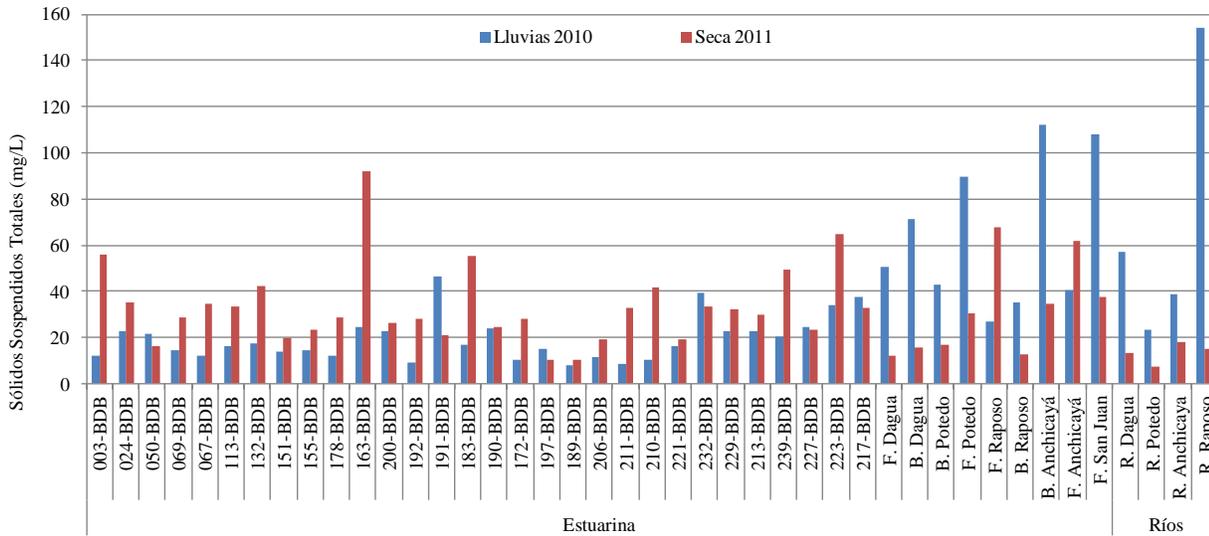


Figura 5.3-4. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medido en aguas superficiales de Valle de Cauca en la época lluviosa 2010 y la época seca 2011.

La turbidez en el departamento de Valle en la época seca 2011 presentaron un rango entre 5 – 70 NTU, con un promedio de $32,3 \pm 16,8$ NTU. Entre los diferentes tipos de aguas, los ríos tuvieron los niveles más bajos de turbidez con un rango de 9 – 29 NTU. Los datos históricos evidencian que los niveles más altos se encuentran en general en las aguas marinas y estuarinas en las zonas norte y sur, fuera de las bahías de Buenaventura y Málaga, debido a la influencia del oleaje a mar abierto que resuspenden los sedimentos manteniendo altos niveles de turbidez, mientras que las aguas al interior de la Bahía de Buenaventura son calmadas manteniendo bajos niveles de turbidez (Figura 5.3-5).

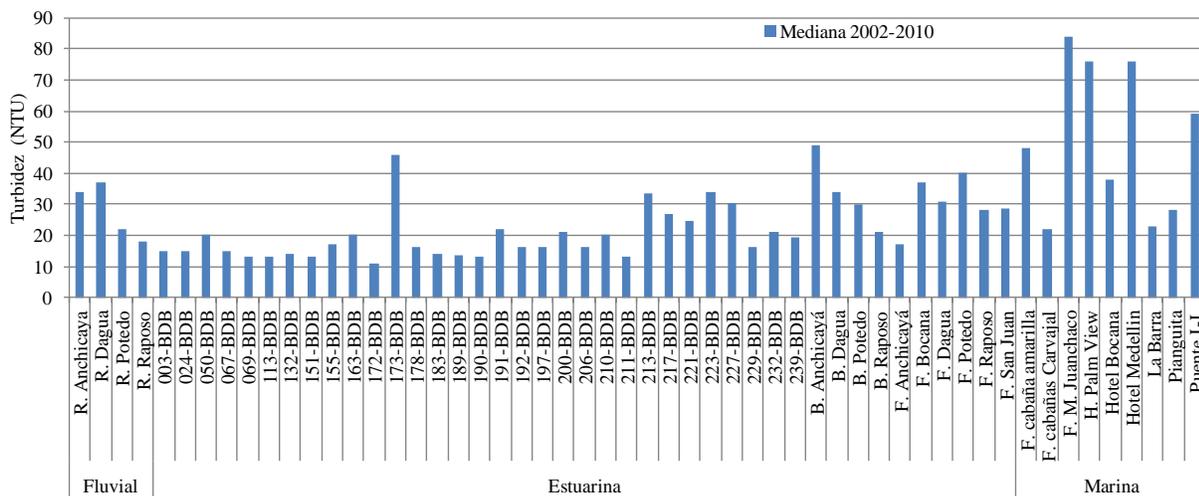


Figura 5.3-5. Concentraciones históricas de turbidez (valor de mediana estadística) medido en aguas superficiales del Valle de Cauca.

El nitrógeno inorgánico disuelto (NID) en el departamento de Valle de Cauca se encuentra principalmente en las formas de nitritos (NO_2) y amonio (NH_4) en la época lluviosa 2010, con concentraciones promedio de 885 ± 424 y 200 ± 87 $\mu\text{g/L}$, respectivamente. Valores tan elevados de estos compuestos indicarían grandes aportes de materia orgánica, posiblemente debido a la descarga de aguas residuales domésticas e industriales sin tratamiento (Troncoso *et al.* 2009). Las concentraciones de nitratos (NO_3), para el periodo de estudio no mostraron diferencias entre las épocas climáticas presentaron un promedio de $12,6 \pm 9,8$ $\mu\text{g/L}$ (Figura 5.3–6). Las aguas estuarinas registraron niveles de NO_3 más altos que los ríos, sugiriendo que las fuentes de nitrógeno se deben a descargas directas o aguas subterráneas, en lugar de las aguas superficiales. El análisis espacial evidencia que las aguas de las desembocaduras de los ríos Dagua, Potedó y Anchicayá son las zonas más ricas de nitratos.

Los datos de Fósforo reactivo soluble (FRS) medidos en la época de lluvias de 2010 en los ríos Dagua, Potedó, Anchicayá y Raposo y sus desembocaduras no mostraron variación entre las épocas climáticas o entre los tipos de aguas, debido a que 12 de las 14 estaciones muestreadas no registraron concentraciones superiores al límite de detección, solo en el río Raposo (19 $\mu\text{g/L}$) y la desembocadura del río Potedó (66 $\mu\text{g/L}$).

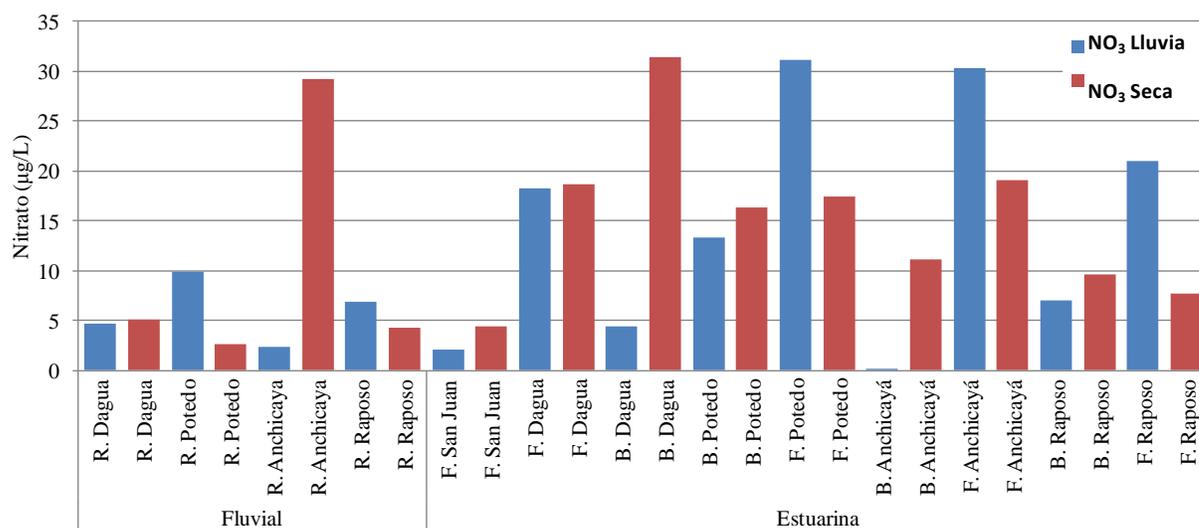


Figura 5.3–6. Concentraciones de nitrógeno en la forma de nitrato (NO_3) medido en aguas superficiales del Valle de Cauca en la época lluviosa de 2010 y la época seca de 2011.

5.3.2 Contaminación Microbiológica

Durante este periodo, las densidades de microorganismos indicadores de contaminación fecal fueron superiores en la época de lluvias, tanto para coliformes totales - CTT ($W=380,5$ y $p=3,89 \times 10^{-4}$) como para coliformes termotolerantes - CTE ($W=180,5$ y $p=7,82 \times 10^{-7}$). Los CTT oscilaron en la época lluviosa del 2010 entre 930 – 1.100.000 NMP/100 mL, mientras que en la época seca del 2011 fueron en promedio tres veces menores; el máximo se registró en la bahía de Buenaventura con 150.000 NMP/100 mL. En el caso de los CTE se presentaron condiciones similares. Las concentraciones en época de lluvias oscilaron entre 430-73.000 NMP/100 mL. En promedio, fueron superiores hasta cinco veces a las obtenidas en época seca, donde el máximo se registró en la bahía de Buenaventura con 20.000 NMP/100 mL.

Como se describió anteriormente la bahía de Buenaventura registró las máximas concentraciones de CTT y CTE, no obstante las altas densidades se concentraron en las estaciones de la zona interna Sector Terminal Marítimo y en el Sector Puente el Piñal e Industrial Pesquera (Figura 5.3–7). Estas zonas reciben

la influencia de las actividades industriales y comerciales, así como las descargas de aguas residuales que en la bahía son aproximadamente el 39 % de los vertimientos del municipio (Troncoso et al., 2009). En contraste, la zona media y externa que están más alejadas del foco de desarrollo del municipio presentó una reducción en la concentración de coliformes.

En la zona externa y media de la bahía también desembocan los ríos Raposo, Anchicaya, Potedó y Dagua, quienes presentaron concentraciones superiores de CTT y CTE en la época de lluvias. De acuerdo a los niveles de CTT, con excepción del río Potedó en la época seca del 2011, todos los ríos presentaron condiciones insuficientes para el riego de hortalizas de tallo corto y el desarrollo de actividades de contacto secundario, como la pesca (Figura 5.3–8; Minsalud, 1984). Es importante resaltar que durante la época lluviosa del 2011 el 100 % de los coliformes encontrados en el río Anchicayá hacen parte del grupo de termotolerantes, cuyo origen es fecal, mientras que los ríos Dagua, Raposo y Potedó presentaron máximo un 14 % de coliformes termotolerantes. En la época seca del 2011, la proporción de coliformes termotolerantes no superó el 6 %.

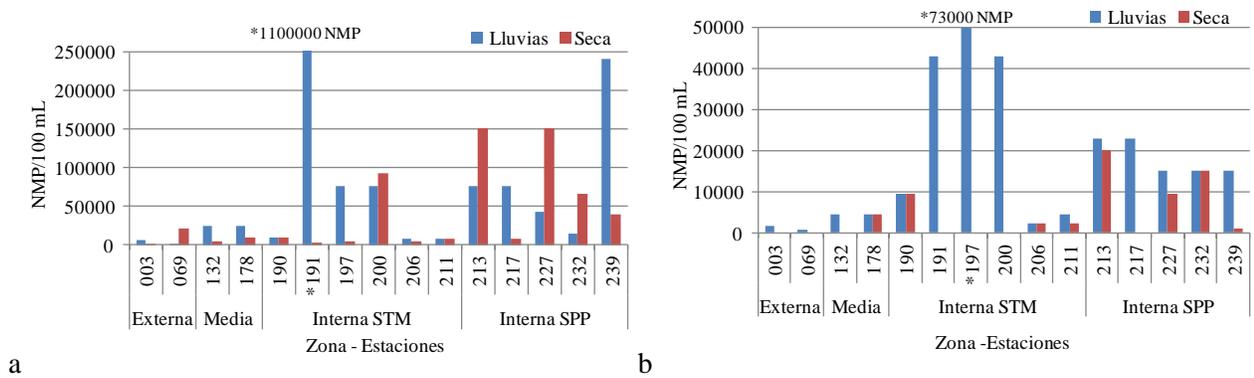


Figura 5.3–7. Concentración de coliformes totales (a) y termotolerantes (b) en las zonas de la bahía de Buenaventura durante la época de lluvias del 2010 y seca del 2011. STM: Sector Terminal Marítimo; SPP: Sector Puente Piñal, Industria Pesquera.

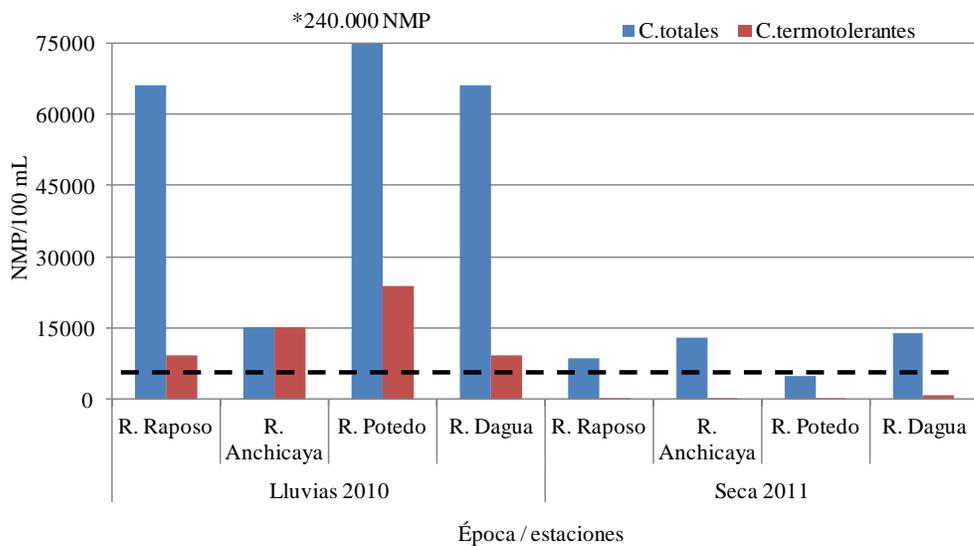


Figura 5.3–8. Concentración de coliformes totales y termotolerantes presentes en aguas superficiales de los ríos que desembocan en la bahía de Buenaventura medidos en el periodo de lluvias del 2010 y seca del 2011. La línea punteada indica el límite permisible de coliformes totales establecido en la legislación nacional para aguas de contacto secundario y riego de hortalizas de tallo corto (CTT :5.000 NMP/100 mL; MINSALUD, 1984).

Con referencia a los cuerpos de agua que son empleados para actividades recreativas que implican el contacto directo, como el baño o la natación, se observó que durante la época lluviosa del 2010 todas las playas presentaron condiciones insuficientes de calidad para estos usos, debido a que sobrepasaron los niveles de coliformes termotolerantes (fecales) establecidos en la legislación colombiana (CTE < 200 NMP/100 mL; Tabla 4.1-1; Minsalud, 1984). En la época seca sólo las estaciones Frente a la Bocana y Puente Juan Chaco Ladrillero no fueron aptas para baño y natación. En el caso de los cuerpos de agua que presentaron calidad adecuada para el desarrollo de actividades de contacto secundario, como paseos en bote o deportes náuticos, se encontró que durante la época de lluvias, sólo tuvieron condiciones óptimas los balnearios de La Barra y Puente Juanchaco Ladrillero. En contraste, en la época seca del 2011, con excepción del balneario del Hotel Palm View, todos los balnearios tuvieron condiciones adecuadas para el desarrollo de estas actividades. La presencia del grupo coliformes es un indicativo de la existencia de microorganismos patógenos, que pueden afectar la salud de los usuarios de estos balnearios (Sampson et al., 2006). El riesgo de adquirir una enfermedad por contacto con aguas con condiciones de calidad insuficiente, dependerá del tiempo de exposición y el estado inmunológico de las personas (OMS, 2003).

Tabla 5.3-1. Concentración de coliformes totales y termotolerantes en aguas superficiales destinadas a actividades recreativas durante la época lluviosa del 2010 y seca del 2011.

| Estación | Coliformes totales | | Coliformes termotolerantes | |
|----------------------------|--------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| | Lluvias 2010 | Seca 2011 | Lluvias 2010 | Seca 2011 |
| F. Bocana | 9300 | 1400 | 4300 | 220 |
| F. cabaña amarilla | 9300 | 4800 | 4300 | 31 |
| F. cabañas Carvajal | 9300 | 1300 | 4300 | 27 |
| F. M. Juanchaco | 66000 | 690 | 66000 | 41 |
| H. Palm View | 24000 | 8700 | 9300 | 39 |
| Hotel Bocana | 24000 | 320 | 24000 | 31 |
| Hotel Medellín | 24000 | 3100 | 9300 | 10 |
| La Barra | 2100 | 610 | 930 | 29 |
| Pianguita | 6600 | 1500 | 1500 | 58 |
| Pte Juanchaco - ladrillero | 4300 | 2400 | 2300 | 380 |

5.3.3 Hidrocarburos

En la época de lluvias de 2010 la cual fue atípica debido al fenómeno de La Niña, donde se presentaron incrementos en las precipitaciones entre 10 – 40% al promedio histórico de la época (IDEAM, 2011), los valores más altos de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos - HDD se registraron en las estaciones Bahía de Buenaventura 003 (15,10 µg/L), Frente al río San Juan (10,70 µg/L) y el río Anchicayá (10,10 µg/L) los cuales superan el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas propuesto por la UNESCO (1984), mientras que en la época seca del 2011, los valores más altos se registraron en las estaciones ubicadas en los ríos Raposo (5,85 µg/L) y Anchicayá (3,94 µg/L), las bocas de los ríos Raposo (1,43 µg/L) y Dagua (1,74 µg/L) y la estación 197 ubicada en la Bahía de Buenaventura (1,38 µg/L). Estas concentraciones posiblemente se deben a la actividad portuaria, expendios de combustibles, transporte marítimo, turismo, aguas residuales domésticas e industriales y lavaderos de vehículos en la zona (Figura 5.3–9).

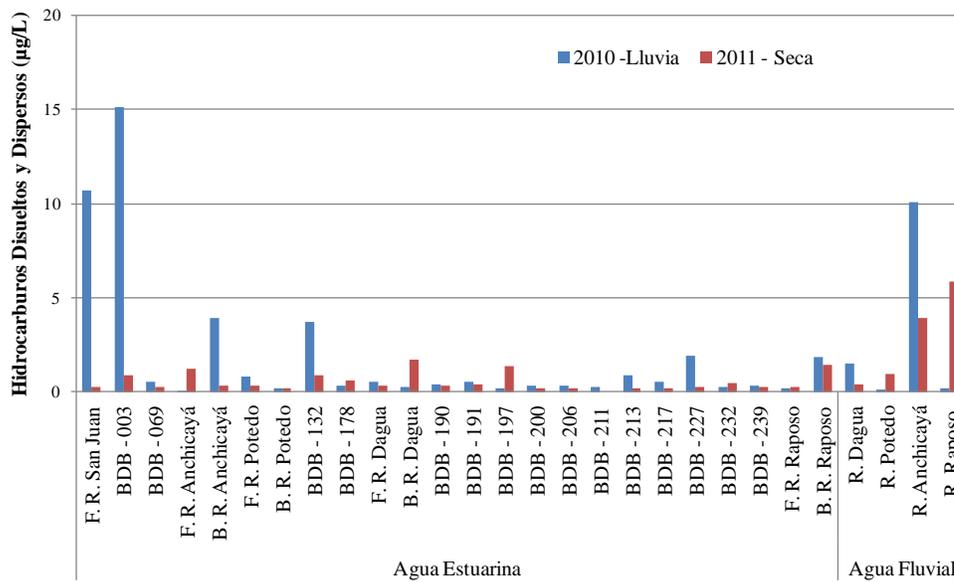


Figura 5.3-9. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos medidas en aguas superficiales del Valle del Cauca, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

El análisis de HDD en este departamento se inicio en el 2001 y no se tienen datos de 2002 y 2003, siendo retomado desde 2004 hasta la actualidad, los ríos Dagua, Anchicayá y Raposo y las estaciones ubicadas en la Bahía de Buenaventura realizan los mayores aportes de este contaminante a la zona costera del departamento mostrando en la época de lluvias un ligero aumento debido al lavado de los suelos de las cuencas de estos tributarios. En la época de lluvias de 2006, se registraron concentraciones por encima del valor de referencia de 10 µg/L de UNESCO (1984), en la estación Bahía de Buenaventura 206 con 16,85 µg/L y en la época de lluvias del 2010 en las estaciones Bahía de Buenaventura 003 con 15,10 µg/L, Frente al río San Juan 10,70 µg/L y el río Anchicayá 10,10 µg/L (Figura 5.3-10). En los otros años de estudio, las concentraciones de HDD detectadas en aguas superficiales han estado por debajo del valor de referencia para aguas contaminadas.

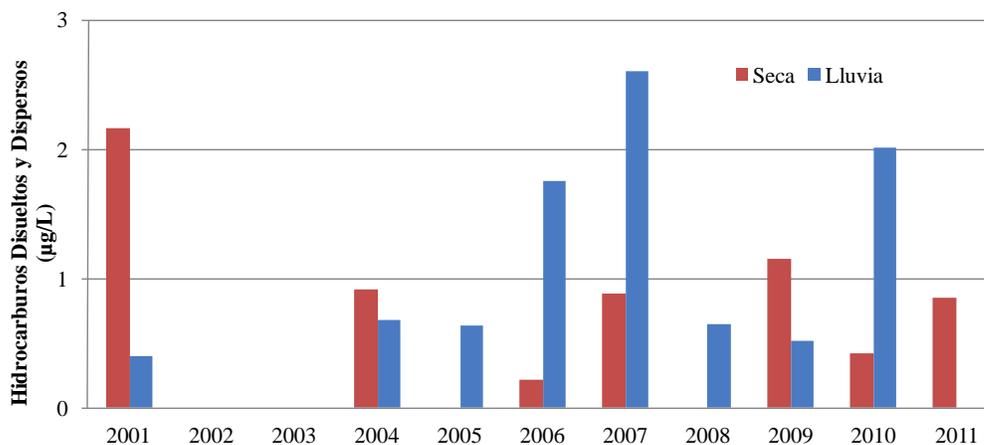


Figura 5.3-10. Promedios históricos de hidrocarburos medidos en aguas superficiales del Valle del Cauca, entre 2001-2011.

5.3.4 Conclusiones

Las concentraciones de OD y pH estuvieron dentro del límite permisible para la legislación colombiana para preservación de flora y fauna, con la excepción de dos casos puntuales en las estaciones 200 y 213 para el OD en la época de lluvias de 2010 se encuentran por debajo de la norma.

Durante la época lluviosa del año actual, las aguas superficiales del mar recibieron un aporte significativo de sedimentos procedentes de los ríos, probablemente debido a las precipitaciones de la época que generan escorrentía de los sedimentos. Concentraciones de nitrato más altas en aguas estuarinas que los ríos también sugieren fuentes costeras como descargas directas o aguas subterráneas, en lugar de las aguas superficiales, y la presencia de muy altos niveles de amonio y nitrito demuestran aportes grandes de materia orgánica, que se podría deber a las aguas residuales domesticas que no son tratadas en el área.

Durante la época de lluvias se presentaron concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal superiores a la época seca. Por lo cual se observó que en época de lluvias todas las playas evaluadas tuvieron condiciones insuficientes de calidad para la realización de actividades de baño y natación, en contraste con la época seca donde sólo las estaciones de las Playas Frente a la Bocana y Puente Juanchaco – Ladrilleros. Condiciones similares se observaron para aguas destinadas a contacto secundario, mientras que en la época lluviosa sólo tuvieron condiciones óptimas los balnearios de La Barra y Puente Juanchacho Ladrillero, en la época seca del 2011, con excepción de la estación Hotel Palm View, todos los balnearios presentaron calidad adecuada. Y en la época de lluvias de 2010 el 11% de las estaciones ubicadas en la Bahía de Buenaventura, frente al río San Juan y en el río Anchicayá sobrepasaron el valor de referencia de 10 µg/L de HDD para aguas contaminadas según el valor de referencia.

Cauca



Quebrada El Barro-brazo seco, recibe aguas residuales de la población. Foto: José Sánchez.

5.4 CAUCA

El Departamento del Cauca está situado en el sur del país, en la región de la llanura de pacífico, entre los 01° 00' y 03° 22' de latitud norte y los 75° 52' y 78° 00' de longitud oeste. La Cuenca Pacífico abarca el 32.9% del Departamento y comprende el área de drenaje al mar, de las corrientes que se originan en la cordillera Occidental. Las principales corrientes fluviales son Micay, Guapi, Timbiquí y Naya (CRC, 2002). En el Cauca la red de monitoreo cuenta con 17 estaciones, que se extienden desde la región del Naya hasta límites con el departamento de Nariño incluyendo cuatro estaciones en el Parque Nacional Natural Isla Gorgona (Figura 5.4-1).

La franja costera o andén aluvial del departamento se caracteriza por ser baja, cubierta de bosque de mangle, anegadiza, tanto por la cantidad de ríos, caños y estuarios que llegan a la costa del océano, como por estar sometida al flujo y reflujo de las mareas. Los períodos de lluvia en el Cauca son generalmente en los meses de marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre; el período seco corresponde a los meses de enero -febrero, y junio - julio. La economía de la zona está basada principalmente en la producción agrícola y ganadera, la explotación forestal, la actividad pesquera y el comercio. La agricultura es incipiente sin embargo en los últimos años se ha desarrollado el cultivo de palma africana. Igualmente se extrae oro.

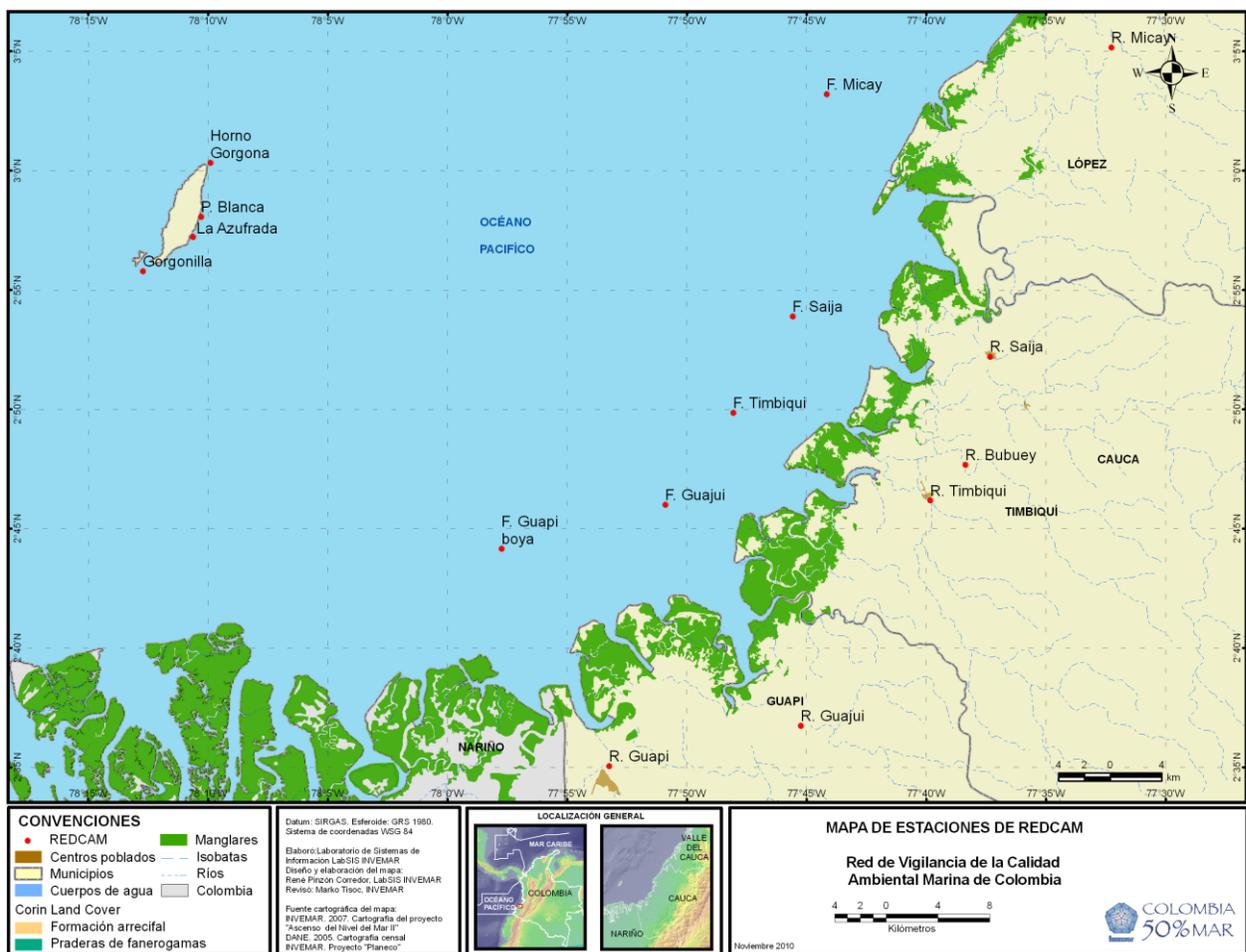


Figura 5.4-1. Estaciones de muestreo REDCAM en el departamento de Cauca

5.4.1 Variables Fisicoquímicas

5.4.1.1 *In situ*

La región costera del Cauca, presentó en el periodo comprendido de época lluviosa de 2010 y época seca de 2011 valores de oxígeno disuelto (OD) por encima de 4,0 mg/L el cual es el valor mínimo que establece la legislación colombiana para aguas destinadas a la preservación de vida acuática (Figura 5.4–2). No se observó una tendencia temporal para el OD, sólo variaciones entre estaciones de aguas dulces, principalmente en la estación río Bubuey - La Trinidad, la cual presentó un mínimo de 5,0 mg/L durante la época de lluvias y máximo de 8,1 mg/L en la época seca. En las estaciones estuarinas y marinas valores de OD fueron semejantes durante las dos épocas, excepto en río Guajui, cuyos valores difirieron entre épocas (5,42 y 4,66 mg/L en lluviosa y seca, respectivamente); y fueron los más bajos registrados durante el período de muestreo.

En aguas marinas, por su misma condición amortiguadora los valores de pH se mantienen en un intervalo de variación muy pequeño de sólo 0.5 unidades (entre 8,1 a 8,6). En aguas estuarinas, los procesos de mezcla de aguas inducen a cambios en el pH, como se observó frente a los ríos Guaji y Saija con variaciones desde ligeramente ácidos (6,7) hasta alcalinos (8,1). En general, los valores de pH registrados durante las dos épocas se enmarcaron dentro del rango permisible de 5,0 a 9,0 que establece la legislación colombiana para propósitos de preservación de fauna y flora (Decreto 1594 de 1.984, Art. 45; Minsalud, 1984). Igualmente, estos valores estuvieron dentro del rango de variación histórico del departamento ($7,5 \pm 0,7$; INVEVAR, 2011).

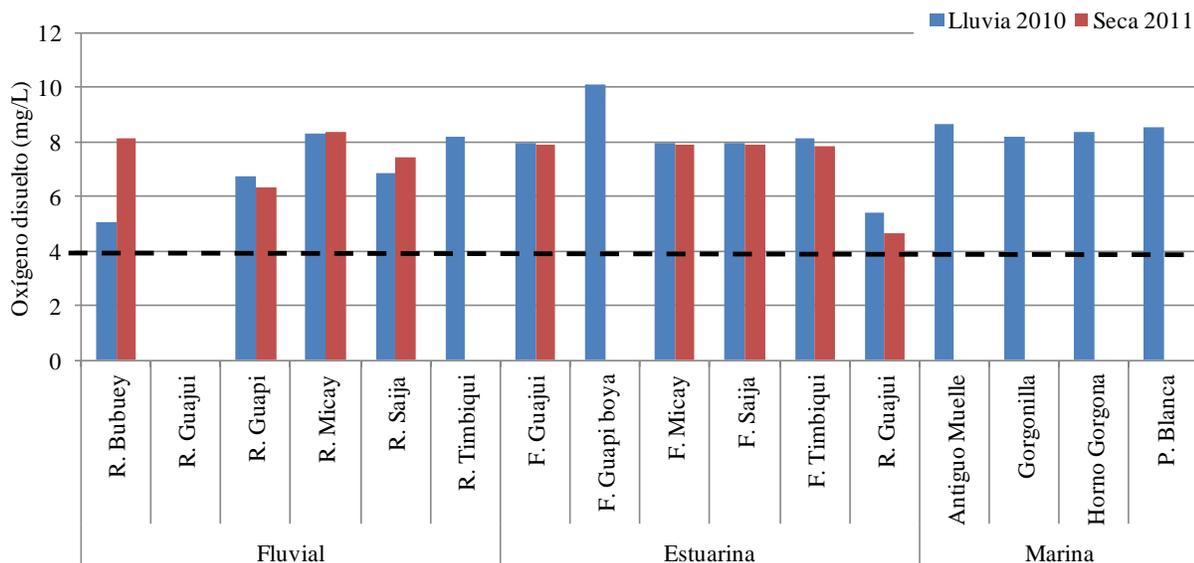


Figura 5.4–2. Comportamiento del Oxígeno Disuelto en aguas superficiales de la zona costera del departamento del Cauca, durante la época lluviosa de 2010 y seca de 2011

Como es de esperarse, se presentaron cambios de salinidad dependiendo de los tipos de aguas. Entre épocas de muestreo no se observó cambios en esta, cuyos valores promedio para el periodo evaluado (Época Lluvias 2010 y Seca 2011) fueron de $0,3 \pm 0,4$ para aguas dulces, de $21,8 \pm 9,6$ para aguas estuarinas y de $27,0 \pm 0,1$ en las estaciones marinas (Figura 5.4–3). En general, en la zona costera del pacífico y del Cauca, los cambios de salinidad se han relacionado con el régimen de mareas e intercambio de las masas de aguas (dulces y salinas), durante este periodo los valores de salinidad fueron coincidentes

con el promedio histórico para los diferentes tipos de aguas en esta región costera ($0,6 \pm 2,6$ en aguas dulces, $23,0 \pm 6,3$ en aguas estuarinas y $25,9 \pm 7,2$ en aguas marinas; INVEMAR, 2011).

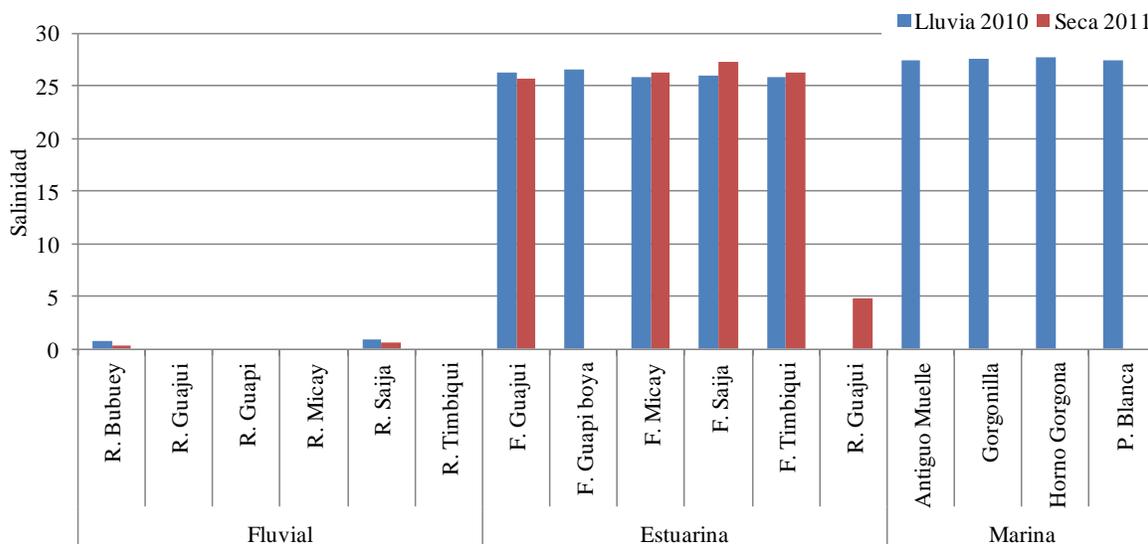


Figura 5.4–3 Comportamiento de la salinidad en aguas superficiales del departamento del Cauca, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011

En cuanto a la temperatura, se observaron solo ligeras variaciones sin tendencia temporal y espacial aparente debidas principalmente a las condiciones durante el muestreo. El valor promedio para la época lluviosa de 2010 fue de $26,9 \pm 0,9$ en tanto que para la seca de 2011 fue $27,2 \pm 1,2$. Estos valores concuerdan con las variaciones de temperatura establecidas por la NOAA para la cuenca del pacifico colombiano; que son entre $26,0$ y $27,5$ °C (CCCP, 2001) y con el promedio histórico de $27,0 \pm 1,2$ (INVEMAR, 2011).

5.4.1.2 Sólidos y Nutrientes

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) no mostraron una variación marcada entre las dos épocas de muestreo, solo se observan variaciones entre el tipo de aguas, los valores de SST más altos se registraron en las aguas estuarinas y marinas que en los ríos (Figura 5.4–4). Este resultado muestra que durante los muestreos del año actual, el nivel de SST en las aguas superficiales no fue controlado por los ríos de Cauca sino al oleaje y las corrientes del mar abierto que levanta y transporte los sedimentos. Sin embargo, en varios años anteriores la situación ha sido contraria, los ríos de Cauca tienen mayores contenidos de SST que las aguas marinas y estuarinas del departamento; por consiguiente, la diferencia notada durante el periodo evaluado no es una tendencia histórica (INVEMAR, 2011). Concentraciones actuales de SST en los ríos Micay y Saija son inferiores a sus promedios históricos ($153,4$ y $61,9$ mg/L, respectivamente), mientras que en los otros ríos son comparables a sus promedios históricos (INVEMAR, 2011). A lo largo de la costa, no se nota diferencias de SST entre las estaciones estuarinas y marinas que tuvieron concentraciones parecidas entre 40 y 70 mg/L.

El muestreo de 2010-2011 incluye los primeros análisis de turbidez de la REDCAM; en varias estaciones del departamento de Cauca, la turbidez fue más alta en la época seca que la época lluviosa (Figura 5.4–5), pero la diferencia no fue significativo ($p > 0,05$). Contrariamente a los SST, la turbidez fue lo más alto en las aguas de los ríos que en las aguas estuarinas y marinas. Este resultado puede significar que los sedimentos que están causando altas concentraciones de SST en las aguas marino-costeras fueron

partículas de alta masa, mientras que partículas pequeñas en alta densidad causaron la turbidez más alta en los ríos. La turbidez reportada fue generalmente baja (< 15 NTU) con la excepción del Río Micay en la época seca (39,3 NTU).

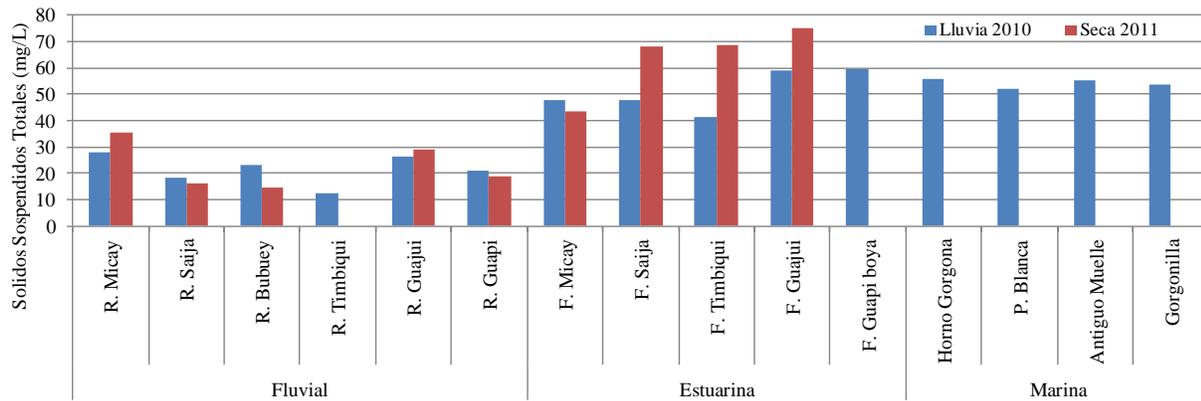


Figura 5.4-4. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) medidas en aguas superficiales del departamento del Cauca en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

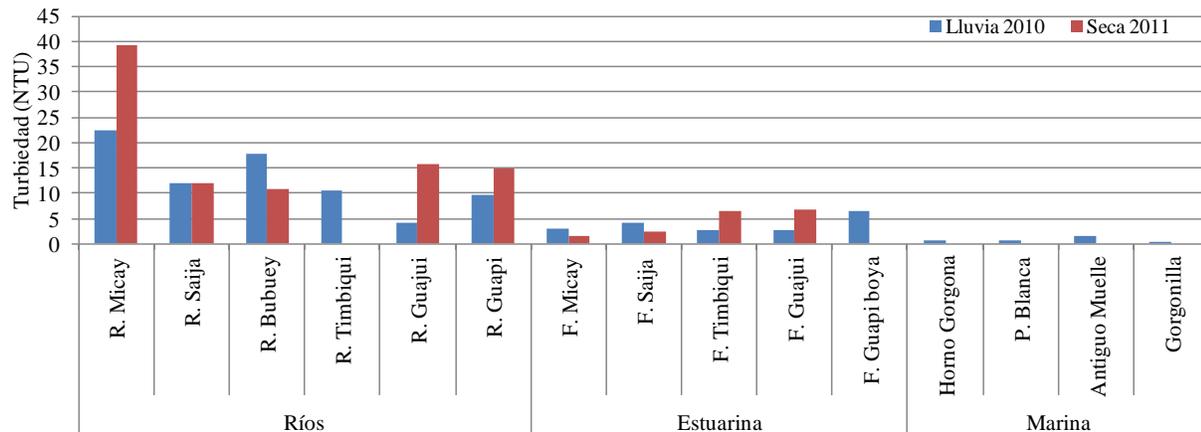


Figura 5.4-5. Valores de turbidez en aguas superficiales del departamento del Cauca en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), en términos de nitratos (NO₃), nitritos (NO₂) y amonio (NH₄), mostraron una gran variación temporal con niveles más altos en la época lluviosa que la época seca (p < 0,05; Figura 5.4-6). Los ríos tuvieron las concentraciones más altas de NID en comparación de las aguas estuarinas y marinas, mostrando que los ríos representan un aporte importante de nitrógeno a la zona costera. En general los ríos aportaron NID en la forma de NO₃, sin embargo, algunos ríos y todas las estaciones estuarinas y marinas mostraron altas proporciones de NH₄ en la época lluviosa, indicando aportes cercanos de materia orgánica. Hay varias fuentes potenciales a cual este aporte podría deberse, como las aguas residuales domesticas sin tratamiento (Vivas-Aguas *et al.*, 2010), material orgánica drenada de los manglares costeras donde la carga orgánica podría exceder la capacidad de oxidación, o a aportes llevados por los corrientes costeras desde el sur. Niveles de NH₄ de 133,9 µg/L no son comunes en las aguas del departamento, pero en años anteriores (como en 2009 y 2007) se han registrado algunas concentraciones de igual magnitud (INVEMAR, 2011).

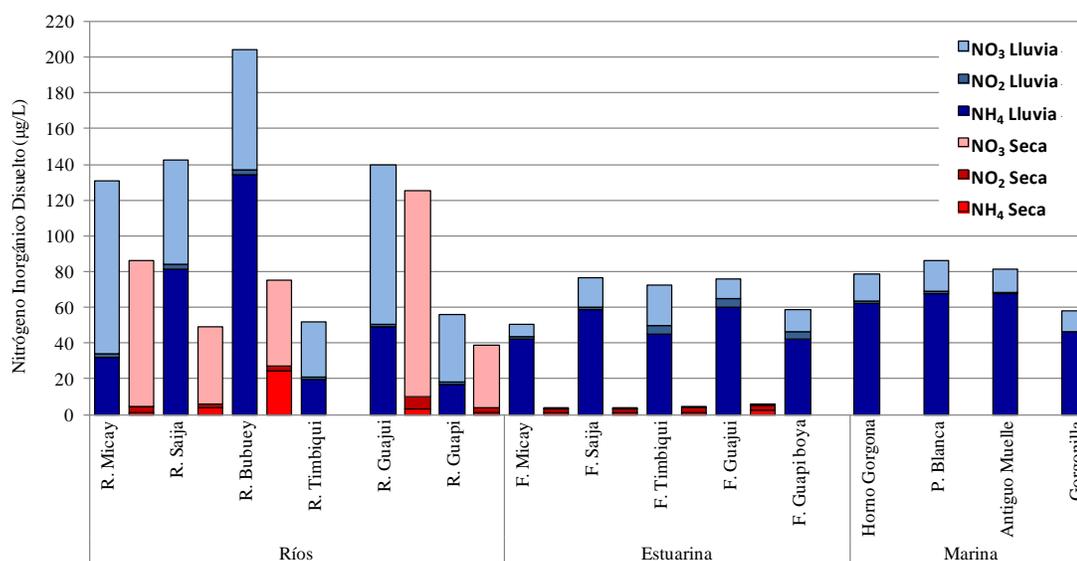


Figura 5.4-6. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto ($\mu\text{g/L}$) en las formas de amonio (NH_4), nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3) en aguas superficiales del Cauca en la época lluviosa 2010 y seca 2011.

Las concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS) mostraron una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre las dos épocas, con niveles de FRS mucho más altos en la época lluviosa (Figura 5.4-7). Este resultado se explica por las propiedades adhesivas del fósforo y el sedimento, y el excesivo escurrimiento de sedimentos erosionados aportados por el aumento de volumen de agua durante las inundaciones de 2010. Concentraciones fueron en general entre 5 – 25 $\mu\text{g/L}$ y entonces no fue mucha la variación entre estaciones, sin embargo, se nota que los valores en los ríos y las aguas estuarinas son ligeramente más altos que los de las aguas marinas.

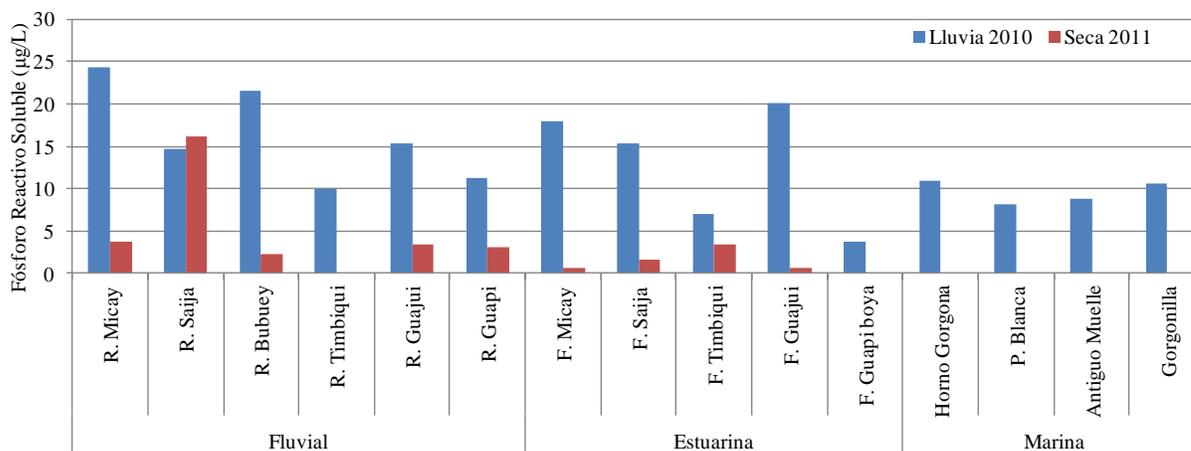


Figura 5.4-7. Concentraciones de fósforo reactivo soluble ($\mu\text{g/L}$) medidos en aguas superficiales del Cauca en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

En cuanto a los ecosistemas de la Isla Gorgona, que se encuentran a unos 25 km del continente, las concentraciones de SST fueron ligeramente superior al valor sobre el cual puede existir perturbación a la reproducción de corales (50 mg/L ; Fabricius, 2005), el cual también es del mismo orden al promedio histórico de la isla ($46,2 \pm 20,2 \text{ mg/L}$; INVEMAR, 2011). Las altas concentraciones de NID podrían generar problemas en la conservación de los ecosistemas coralinos de la Isla Gorgona porque en algunos

muestreos los valores han sido superiores al valor reportado para impactos potenciales a la fisiología de corales ($14,0 \mu\text{g/L}$; [Fabricius, 2005](#)). En consideración que 72% de los datos históricos de estas estaciones han sido superiores al anterior valor, este impacto potencial podría considerarse continuo en la Isla Gorgona ([INVEMAR, 2011](#)).

Sin embargo, las concentraciones de FSR no representan problemas ya que están por debajo del valor sobre el cual pueden ocurrir impactos a la fisiología de corales ($62,0 \mu\text{g/L}$; [Fabricius, 2005](#)), un valor que nunca ha sido superado en los 5 años de muestreo de la REDCAM en Gorgona donde el promedio histórico es de $10,9 \pm 8,8 \mu\text{g/L}$ ([INVEMAR, 2011](#)). En consideración del nivel relativamente alto de la cobertura de corales duros en Gorgona a lo largo de los últimos 10 años ([Vega-Sequeda et al., 2011](#)) parecería que estos ecosistemas coralinos son resistentes a las condiciones de DIN y SST en la región.

5.4.2 Contaminación Microbiológica

En este periodo, las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal no presentaron diferencias entre épocas ($p > 0,05$). Sin embargo si se evidenciaron diferencias según el tipo de aguas. Las menores concentraciones se presentaron en las aguas marinas, seguido por las estuarinas y por último las fluviales. En las aguas marinas, representadas por las estaciones de la Isla Gorgona, los coliformes totales (CTT) oscilaron entre 1,8 - 130 NMP/ 100 mL y los coliformes termotolerantes (CTE) entre 1 - 49 NMP/ 100 mL. Estos niveles garantizan la calidad de las aguas superficiales para realizar actividades recreativas sin presentar ningún riesgo microbiológico para los bañistas.

Contrario a las aguas marinas, las aguas de los ríos Bubuey, Guapi, Micay, Saija y Timbiqui tuvieron los mayores niveles, con CTT entre 450-35.000 NMP/ 100 mL y CTE entre 450-24.000 NMP/100 mL. Las mayores concentraciones se registraron en el Río Micay en la época seca y en el Río Saija en la época de lluvias. Estos dos tributarios, junto con el río Bubuey sobrepasaron los niveles permisibles de CTT (5.000 NMP/100 mL) para cuerpos de agua destinados a actividades de contacto secundario como la pesca y para el riego frutas y hortalizas de tallo corto ([Figura 5.4–8; Minsalud, 1984](#)). Adicionalmente, con base en las concentraciones de CTE se evidenció que ninguno de los ríos presentó durante los muestreos, condiciones seguras para actividades que impliquen el contacto directo.

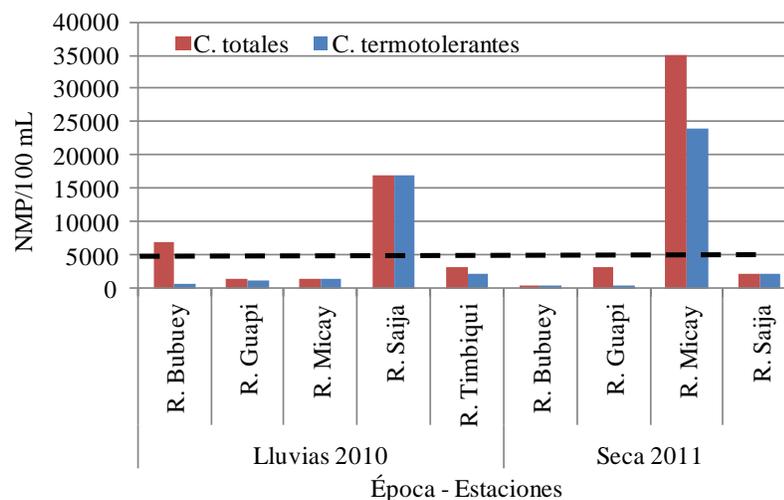


Figura 5.4–8. Concentración de coliformes totales y termotolerantes en aguas superficiales de los ríos del Cauca en la época de lluvias del 2010 y seca del 2011.

A pesar de las altas concentraciones de coliformes en los ríos, las densidades de CTT y CTE se redujeron al llegar al mar en un promedio de 90% y 93%. De tal modo que en las estaciones localizadas frente a las desembocaduras, caracterizadas por ser estuarinas, los niveles de CTT no superaron los 1300 NMP/100 mL y los de CTE los 450 NMP/ 100 mL. Estas reducciones se ven favorecidas por factores ambientales como la temperatura, la salinidad, el pH y la radiación solar que ejercen un efecto bactericida sobre las poblaciones, sumado al proceso de dilución que se genera por la entrada en una gran masa de agua microbianas (Hose et al., 2005; Bordalo et al., 2002).

Históricamente los ríos Micay y Saija han sido los tributarios que transportan mayor carga de coliformes a la zona costera del departamento (INVEMAR, 2011). Sus niveles superan entre dos y tres veces las concentraciones de otros ríos de la zona costera de Cauca (Figura 5.4–8) como resultado de las descargas domésticas y agropecuarias que se realizan en la cuenca. Hay que notar, que los ríos de esta región tienen múltiples usos entre los que se encuentran la recreación, el transporte, pesca, agricultura y los quehaceres domésticos. Todas estas actividades implican el contacto directo o indirecto de las personas con el cuerpo de agua, por lo cual existe riesgo para la salud de los pobladores, especialmente en poblaciones infantiles y adultos mayores.

5.4.3 Hidrocarburos

En la época de lluvias de 2010 los valores más altos de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos (HDD) se registraron en las estaciones ubicadas en los ríos Guapi (0,31 µg/L), Guajui (0,32 µg/L) y Timbiquí (0,27 µg/L) y frente a los ríos Micay (0,44 µg/L) y Timbiquí (0,38 µg/L), mientras que en la época seca del 2011 los valores más altos se registraron en los ríos Guapi (0,45 µg/L) y Micay (0,25 µg/L) y frente a los ríos Micay (0,25 µg/L) y Guajui (0,24 µg/L), lo cual indica que los ríos son las principales fuentes de descargas de hidrocarburos a las aguas costeras del departamento debido a la actividad de transporte marítimo, turismo, venta de combustibles, aguas residuales domésticas, aguas de sentina y residuos de aceites de motor. A pesar de lo anterior, la dilución favorece que las concentraciones no superen el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas propuesto por la Unesco (1984; (Figura 5.4–9).

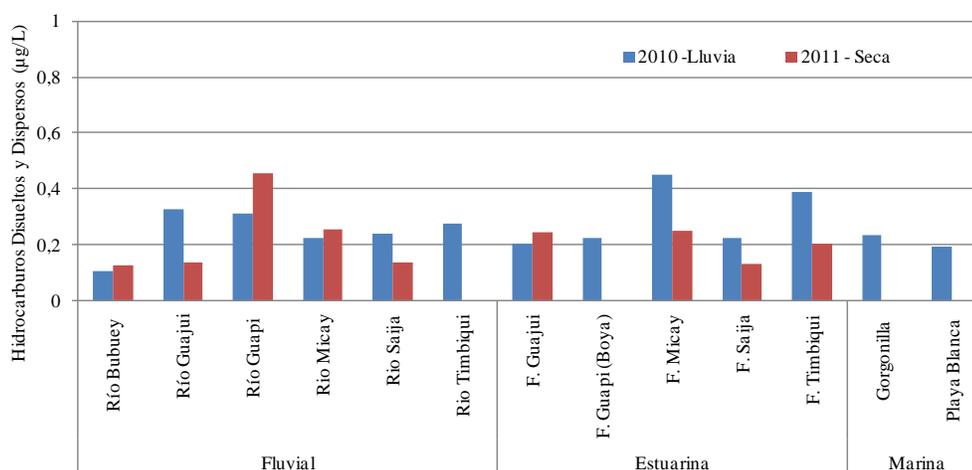


Figura 5.4–9. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos medidas en aguas superficiales del Cauca, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

El análisis de HDD en este departamento se inició en el 2001 hasta la actualidad, se ha determinado que los ríos Guapi, Micay, Timbiquí y Guajui son los que más aportan hidrocarburos a la zona costera del departamento. En la época seca de 2001, se registraron concentraciones por encima del valor de referencia (10 µg/L), en las estaciones ubicadas en los ríos Guapi 31,80 µg/L y Guajui 19,10 µg/L, y en sus frentes

10,30 $\mu\text{g/L}$ y 19,60 $\mu\text{g/L}$ respectivamente (Figura 5.4–10). Después de la época seca de 2001 las concentraciones de HDD en aguas han estado por debajo del valor de referencia para aguas contaminadas.

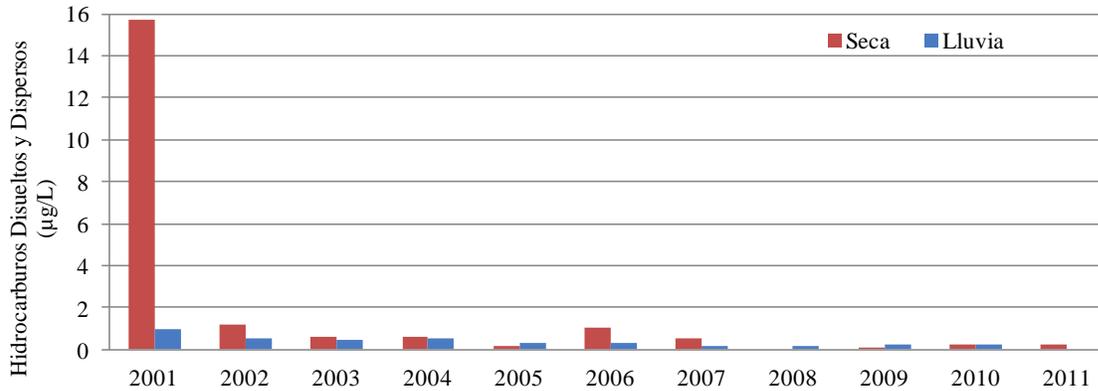


Figura 5.4–10 Promedios históricos de hidrocarburos medidos en aguas superficiales de Cauca, entre 2001-2010.

5.4.4 Metales Pesados

En la región del Pacífico Colombiano la problemática de la contaminación por metales pesados ha sido poco estudiada, en la zona costera del departamento del Cauca la información acerca de la presencia de estos elementos es limitada, no obstante se tiene como referencia de posibles fuentes de contaminación, las actividades de explotación minera (extracción de oro) llevadas a cabo en las cuencas de los ríos Timbiquí, Bubuey, Saija y Micay, además del inadecuado manejo de las aguas servidas de las poblaciones ubicadas en las cuencas de los ríos principales y la disposición de los residuos sólidos.

Durante el monitoreo REDCAM se han analizado los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) en las aguas superficiales marino costeras del departamento, entre la época de lluvias (2010) y época seca (2011), las concentraciones se hallaron por debajo de los niveles de riesgo para efectos agudos en aguas marinas referenciados en guías internacionales (Pb: 210 $\mu\text{g/L}$, Cd: 40 $\mu\text{g/L}$ y Cr: 50 $\mu\text{g/L}$, Buchman, 2008; Conama, 1986). En general, el Pb es el elemento que presentó el mayor promedio en la época seca ($4,58 \pm 3,92$ $\mu\text{g/L}$), especialmente por las concentraciones registradas en las estaciones río Guajui (9,18 $\mu\text{g/L}$) y Gorgonilla (8,58 $\mu\text{g/L}$), mientras en la época de lluvias todas las estaciones estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada. Se evidencia una tendencia temporal de este elemento ya que durante el muestreo de lluvias aumentaron las concentraciones en la mayoría de las estaciones (Figura 5.4–11).

El cadmio (Cd) en todas las estaciones estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica. En cuanto a el cromo (Cr), se registraron los valores más altos en las estaciones Frente a Timbiquí (5,24 $\mu\text{g/L}$) y río Saija (2,60 $\mu\text{g/L}$) en la época seca; la estación río Bubuey (0,89 $\mu\text{g/L}$) fue la única estación que presentó un valor superior al límite de detección de este elemento en la época de lluvias de 2010, se evidencia una mayor presencia de este contaminante en la época seca, no obstante estos valores están muy por debajo de los niveles de riesgo para efectos agudos en aguas marinas (Cr: 50 $\mu\text{g/L}$, Conama, 1986), lo cual indica un bajo riesgo para el ambiente marino costero por este tipo de contaminantes.

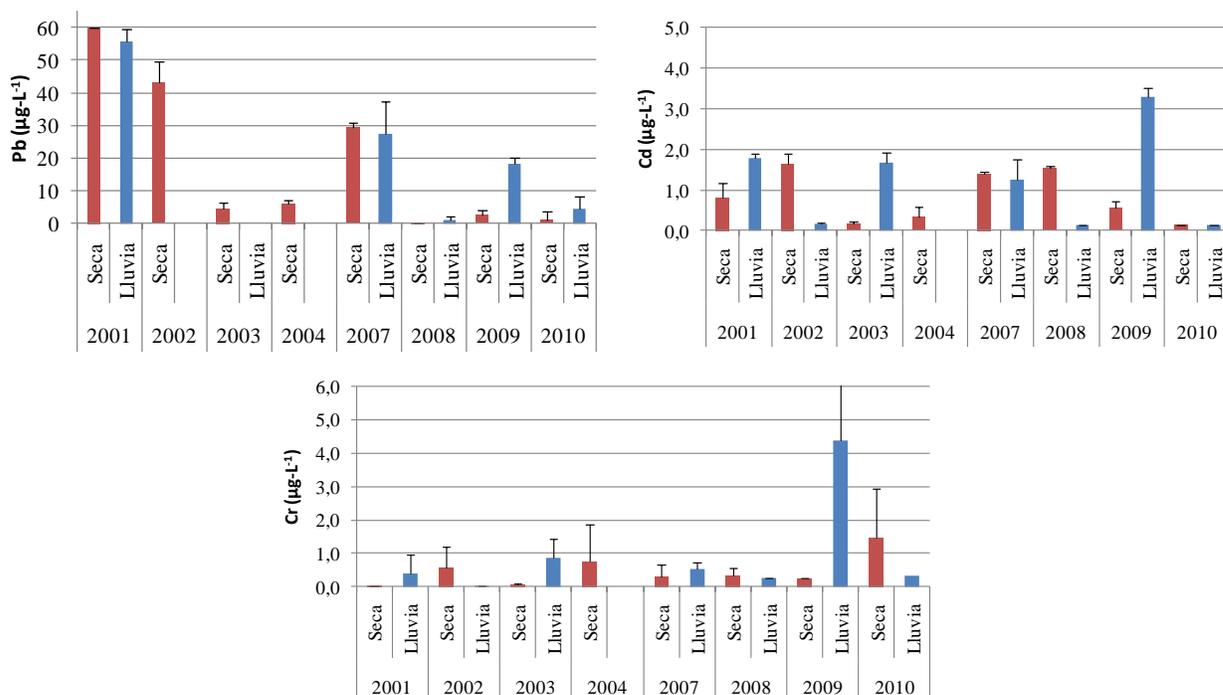


Figura 5.4–11. Comportamiento histórico de la concentración promedio de plomo (Pb, µg/L), cadmio (Cd, µg/L) y cromo (Cr) medidas en aguas superficiales del Cauca, en las épocas climáticas lluvias y seca entre 2001 y 2010.

En general las mayores concentraciones de Pb se registraron en el año 2001 en la época seca y de lluvias de 2001 ($60,0 \pm 0,0$ y $55,9 \pm 5,8$ µg/L, respectivamente) y en la época seca de 2002, con una clara tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo (Figura 5.4–11), sin embargo no se han registrado valores que excedan el nivel de riesgo (210 µg/L, [Buchman, 2008](#)). Por otra parte las mayores concentraciones promedio de Cd se registraron en la época de lluvias de 2001 y 2009 ($1,79 \pm 0,09$ y $3,27 \pm 0,23$ µg/L respectivamente), y no se han registrado valores que rebasen el valor de referencia para efectos agudos en aguas marinas superficiales (40 µg/L, [Buchman, 2008](#)), en general las concentraciones de este elemento han mostrado una tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo, a excepción de la época de lluvias de 2009 en la cual se registró un incremento en la concentración de este elemento (Figura 5.4–11).

El registro histórico muestra que las concentraciones de Cr no han presentado una tendencia marcada a lo largo del monitoreo, las mayores concentraciones se registraron en la época seca de 2008 y 2010 ($2,01 \pm 0,86$ y $2,55 \pm 1,66$ µg/L, respectivamente), no obstante, estas concentraciones están muy por debajo de los valores de riesgo referenciado en normatividad internacional (50 µg/L, [Conama, 1986](#)), y no se evidencian problemas de contaminación por este elemento en las aguas costeras (Figura 5.4–11). Sin embargo, se debe continuar monitoreando para evidenciar la fuente de su constante presencia en las aguas de las zonas costeras del departamento que puede estar relacionada a las actividades mineras que se desarrollan en las cuencas de los ríos.

En general, las concentraciones de estos metales (Cd, Cr y Pb) medidos en las aguas costeras del departamento del Cauca son relativamente bajas con referencia a las normas internacionales, sin embargo su persistencia en el medio puede incrementar su biodisponibilidad a los ecosistemas adyacentes, repercutiendo negativamente en la calidad de las aguas costeras del departamento, tal como se ha expuesto con anterioridad para la problemática ambiental marina de otros departamentos. No obstante, su presencia en el medio aun en concentraciones muy bajas, puede deberse en parte por el mal manejo de los residuos generados de la minería así como la mala disposición de los residuos domésticos que igualmente

favorecen el incremento de estos metales en el medio. Es de notar que se evidencia un incremento en las concentraciones de estos elementos en el monitoreo de la época de lluvias de 2009 que fueron inusualmente altas en todo el territorio, por lo cual es importante continuar el monitoreo en esta zona con el fin de evaluar las posibles fuentes de estos elementos.

5.4.5 Conclusiones

Las lluvias causadas por el fenómeno climático La Niña de 2010 tuvieron en efecto marcado en Cauca donde los nutrientes fueron mucho más prevalentes en la época lluviosa que en la época seca. Los ríos aumentaron el aporte de nutrientes y aguas turbidas en la zona marino-costera de Cauca mientras que las concentraciones de sedimentos suspendidos fueron controladas por las condiciones oceanográficas, como corrientes y oleaje. Aunque los ríos aportaron nitrógeno principalmente en la forma de nitrato, altas proporciones de amonio en las aguas estuarinas y marinas indican aportes cercanos de aguas residuales domésticas sin tratar.

Se presentaron variaciones de oxígeno disuelto entre los diferentes tipos de aguas, sin embargo fueron óptimos al compararlos con el valor mínimo aceptable para la preservación de flora y fauna. Igualmente, se presentaron cambios en la salinidad y el pH principalmente en aguas estuarinas debido a los procesos de mezcla entre las masas de aguas dulces y salinas por la influencia de regímenes de mareas. No obstante cumplen con los rangos establecidos para estas aguas con fines de preservación de vida acuática y con los promedios históricos que se han presentado en la región.

Los ríos Micay y Saija son los tributarios que mayor concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal llevaron a la zona costera del departamento, presentando condiciones no aptas para contacto primario y secundario. En contraste, las aguas superficiales de la Isla Gorgona mostraron en la época lluviosa y seca condiciones microbiológicas óptimas para el desarrollo de actividades recreativas.

En el análisis de metales pesados muestra una disminución de la concentración de Cd y Pb a lo largo del monitoreo, los valores encontrados están muy por debajo de los valores referenciados en guías internacionales como de riesgo, así mismo los valores de cromo, aunque no se evidencia problemas de contaminación por estos metales en las aguas costeras del departamento, se recomienda continuar con su monitoreo ya que su constante presencia puede deberse a las actividades mineras que se desarrollan en las cuencas de los ríos de este departamento. Igualmente, la principal entrada de hidrocarburos es debido a los ríos que desembocan en la zona costera aunque en la actualidad las concentraciones son muy inferiores al valor de referencia ($<10 \mu\text{g/L}$) y no reflejan los impactos de estos contaminantes sobre el ambiente y no representaron riesgos para los organismos y los ecosistemas.

Nariño



Playa el Morro – Tumaco. Foto: José Sánchez

5.5 NARIÑO

El Departamento de Nariño está situado en el sur -occidente del país, en la región de la llanura de Pacífico, entre los 00° 20' y 02° 41' de latitud Norte y a los 76° 52' y 79° 10' de longitud Oeste. La red de 26 estaciones de muestreo se localiza en la extensión litoral desde los límites con el departamento del Cauca pasando por la ensenada de Tumaco hasta el río Mataje en la frontera con el vecino país del Ecuador (Figura 5.5-1). La zona costera de Nariño se caracteriza por altas temperaturas, abundantes lluvias y exuberante vegetación; se subdividen en el andén aluvial o zona de mangle y la llanura del bosque húmedo, que se extiende hasta las estribaciones de la cordillera occidental. Entre las principales actividades económicas se encuentra la pesca, la agricultura, la explotación forestal y el comercio. La agroindustria está representada por la extracción de aceite crudo de palma africana y la industria harinera. La actividad minera presentó en el año de 1995 una producción de 931.405 gramos de oro y 8.805,2 gramos de platino proveniente en gran parte de la llanura pacífica. La región viene siendo afectada por la irracional deforestación causada por los colonos, principalmente en las áreas aledañas a los ríos Mataje, Mira, Patía, Sanquianga, Satinga y Tapaje; y la extracción de oro en forma artesanal causa contaminación especialmente en los ríos Mira, Patía y Telembí.

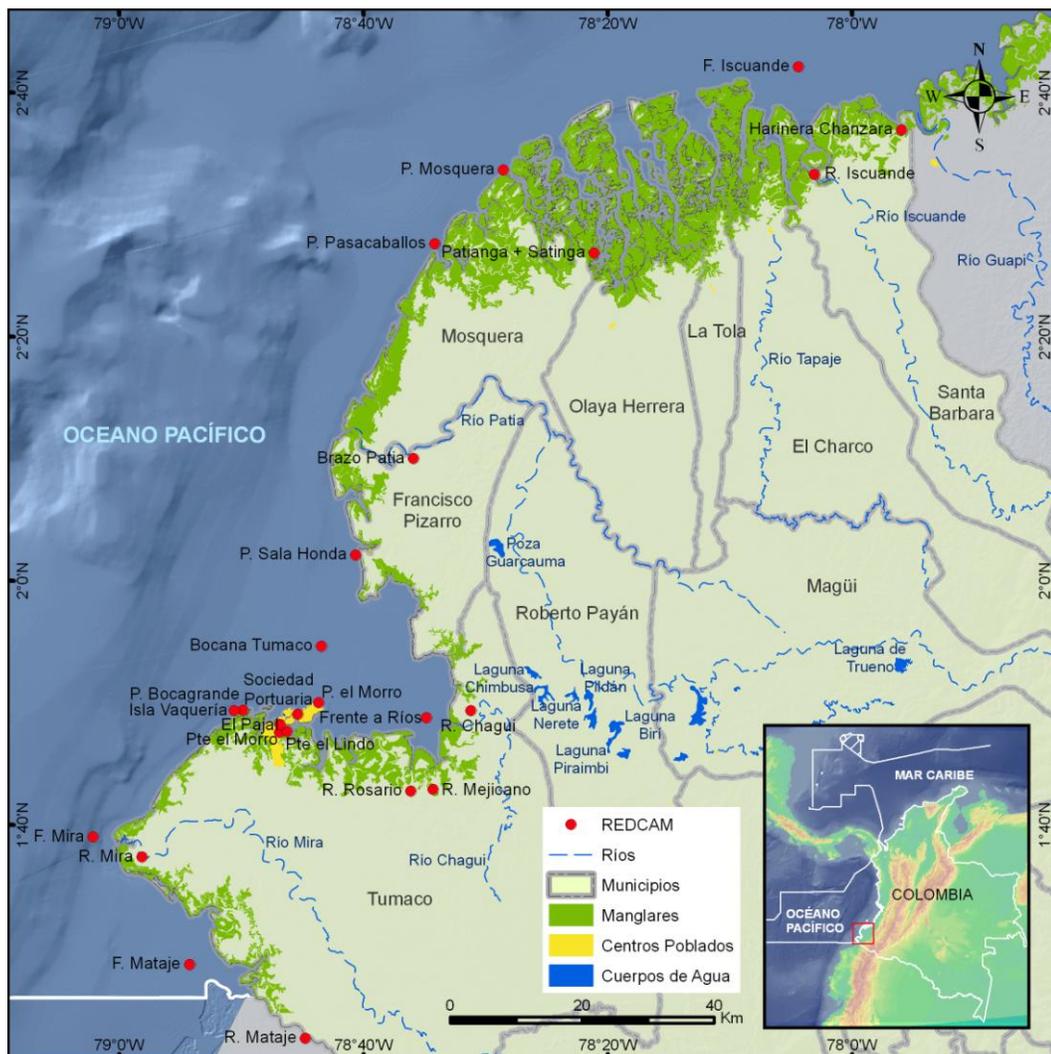


Figura 5.5-1. Estaciones de muestreo en el departamento de Nariño

5.5.1 Variables Fisicoquímicas

5.5.1.1 *In situ*

Las variables fisicoquímicas medidas en las aguas costeras del departamento de Nariño, muestran diferencias entre las épocas lluviosa (2010) y seca (2011) y entre los tipos de aguas, dulces y estuarinas. La concentración de oxígeno disuelto (OD) en aguas dulces (ríos) y estuarinas, en las dos épocas climáticas estuvo en la mayoría de estaciones por encima de los 4,0 mg/L, valor mínimo permisible exigido por la norma colombiana para los propósitos de preservación de vida acuática (Decreto 1594 de 1984, Art. 45; Minsalud, 1984), excepto en los ríos Mejicano y Chagui, donde las niveles de OD oscilaron entre 3,5 – 3,9 mg/L para ambas épocas (Figura 5.5-2). Las bajas concentraciones de OD en estos ríos, están relacionadas con los aportes de materia orgánica y escurrimientos difusos provenientes de las actividades humanas en las cuencas altas que son transportados al mar por la escorrentía, mientras que los valores relativamente altos se deben a los intercambios de aguas realizados por las corrientes de mareas y procesos de intercambio con la atmosfera. No obstante, el OD registrado durante las dos épocas actuales (lluviosa 2010 y seca 2011), oscilaron dentro de los promedios históricos del departamento ($6,4 \pm 2,5$ mg/L en época seca y $6,0 \pm 2,5$ en época lluviosa; INVEMAR, 2011).

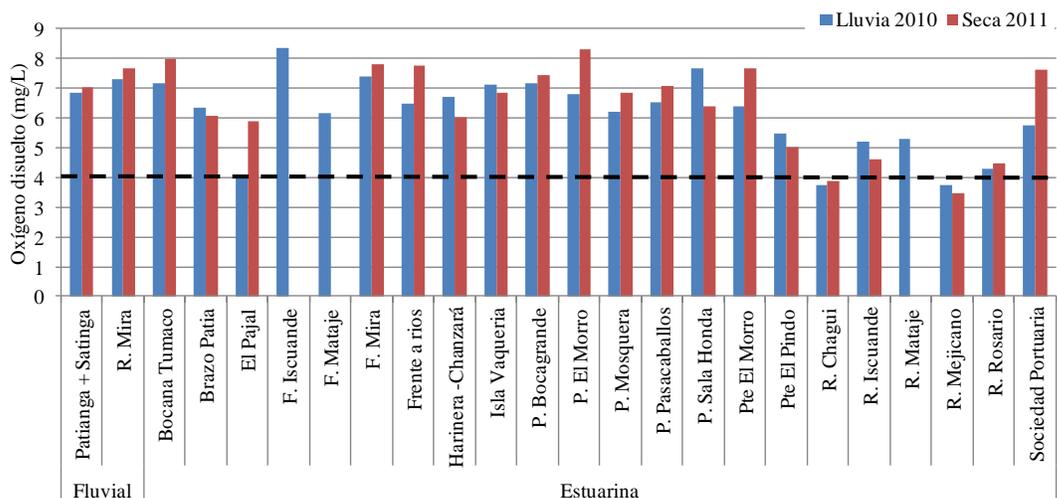


Figura 5.5-2 Comportamiento del Oxígeno Disuelto (mg/L) en aguas superficiales de la zona costera de Nariño, durante la época lluviosa de 2010 y seca de 2011

El valor pH fluctuó entre 5,7 y 7,9 en aguas dulces y entre 5,3 y 8,8 en aguas estuarinas. Aunque espacial y temporalmente no se observa tendencia general alguna, se presentan pequeños intervalos de variación siendo los más amplios los registrados en las estaciones estuarinas como río Iscuandé y Salahonda y en el río Patianga-Satinga, al aumentar durante época seca de 2011 en aproximadamente dos unidades. Es importante destacar que el cambio mareal (de más de 3,5 m de amplitud) es uno de los factores que regulan la variación de los parámetros fisicoquímicos (Castro *et al.*, 2001), los bajos valores de pH en estas estaciones durante la época lluviosa, debidos a los aportes de aguas lluvias y régimen de mareas, se constituyen en los más bajos valores de la época, sin embargo, son normales para ecosistemas estuarinos. En general, los valores de pH registrados durante las dos épocas, están dentro del rango establecido en la legislación colombiana para propósitos de preservación de fauna y flora (de 5,0 - 9,0 unidades, Decreto 1594 de 1.984, Art. 45; Minsalud, 1984). Así mismo estos valores se encontraron dentro del rango de variación histórico del departamento (5,3 a 8,6).

Como es de esperar la salinidad en aguas dulces se mantuvo con valores de 0,0. En las aguas estuarinas, el rango de variación estuvo entre 0,0 y 29,6 con un aumento durante la época seca de 2011 en la mayoría

de estaciones, excepto por las estaciones ubicadas frente a río Mira, Salahonda Brazo Patía y Playa Salahonda. Estos cambios se deben a las fluctuaciones en las descargas de agua dulce proveniente de la escorrentía y las ocasionadas por los cambios mareales (Figura 5.5-3). Al comparar con los datos históricos del monitoreo, se observan diferencias que también han estado relacionadas con otros eventos climáticos de gran escala como los eventos El Niño y La Niña.

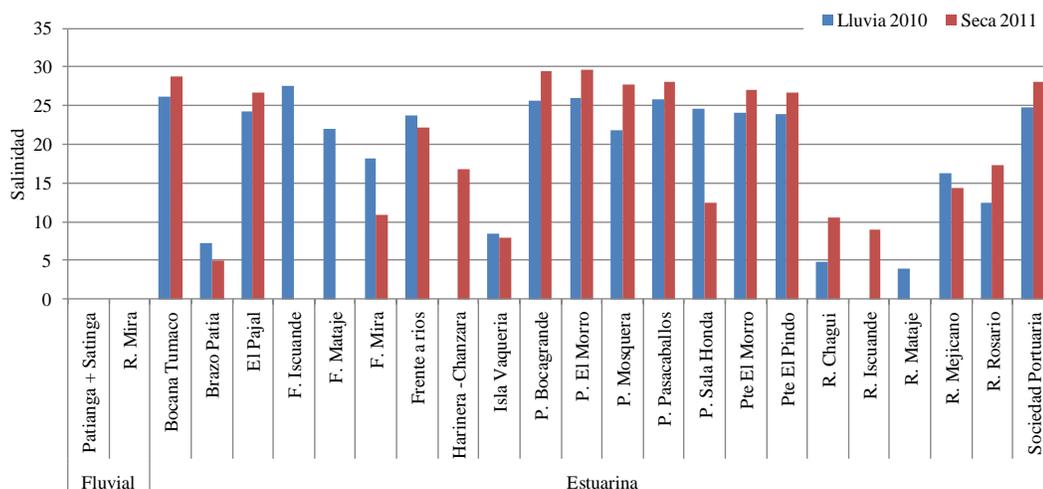


Figura 5.5-3. Comportamiento de la salinidad en aguas superficiales de la zona costera de Nariño, durante la época lluviosa de 2010 y seca de 2011

La temperatura superficial de las aguas osciló entre 24,5 y 28,5 °C para la época lluviosa 2010 y entre 24,0 y 29,6 °C durante la época seca 2011. Temporalmente se observó una tendencia casi generalizada hacia el aumento, entre 0,1 y 3,5 °C durante la época seca de 2011. Entre grupo de estaciones las temperaturas relativamente más bajas se presentaron en las estaciones de los ríos y las más altas hacia las zonas estuarinas, condición que resulta normal para esta región costera, dado que las corrientes mareales afectan las condiciones halinas y térmicas de los estuarios del Pacífico colombiano dando lugar a aguas superficiales presenten menores salinidades y temperaturas más elevadas.

5.5.1.2 Sólidos y Nutrientes

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) no mostraron variación entre las dos épocas de muestreo (Figura 4.1-2). Las concentraciones por lo general estuvieron en el rango de 50-90 mg/L con algunos reportes que superaron este rango en los ríos Patianga, Chagui, y las aguas marinas al lado de la Sociedad Portuaria, y los valores más bajos en los ríos Iscuandé (Harinera–Chanzará), Mira y Mataje). Esta variación espacial corresponde con lo observado históricamente en el monitoreo (Figura 5.5-4; INVEMAR 2011), con excepción del río Mira que fue irregularmente bajo en SST en el muestreo de época seca de 2011.

El periodo analizado (2010-2011) incluye los primeros análisis de turbidez de la REDCAM en el departamento. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre las dos épocas. Los niveles estuvieron en el rango de 5 a 25 NTU, con algunas excepciones como las estaciones de Brazo Patío, R. Chagui y Sociedad Portuaria que presentaron con valores entre 75 – 110 NTU, y el Río Patianga con un valor de 275 NTU en la época seca de 2011.

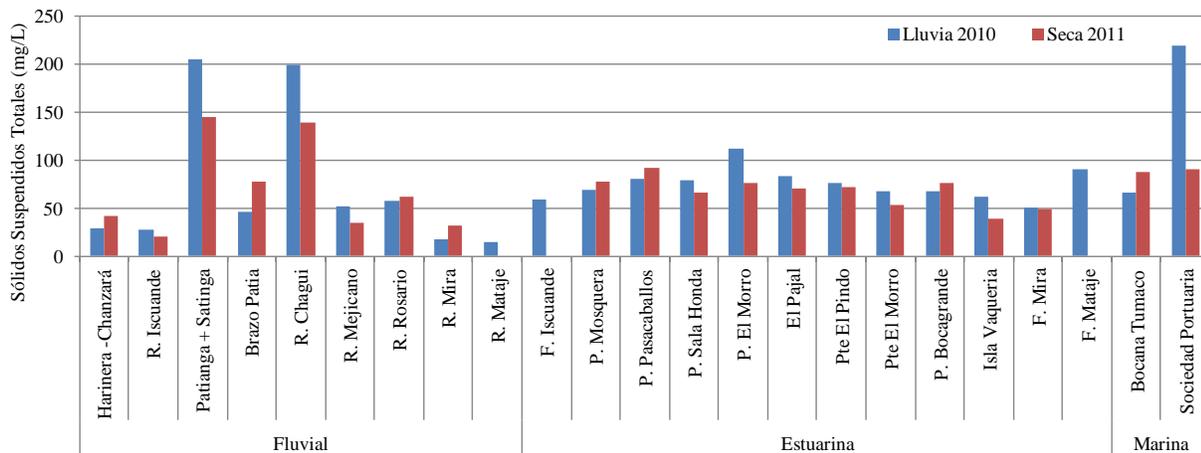


Figura 5.5-4. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) medidos en aguas superficiales del departamento de Nariño en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

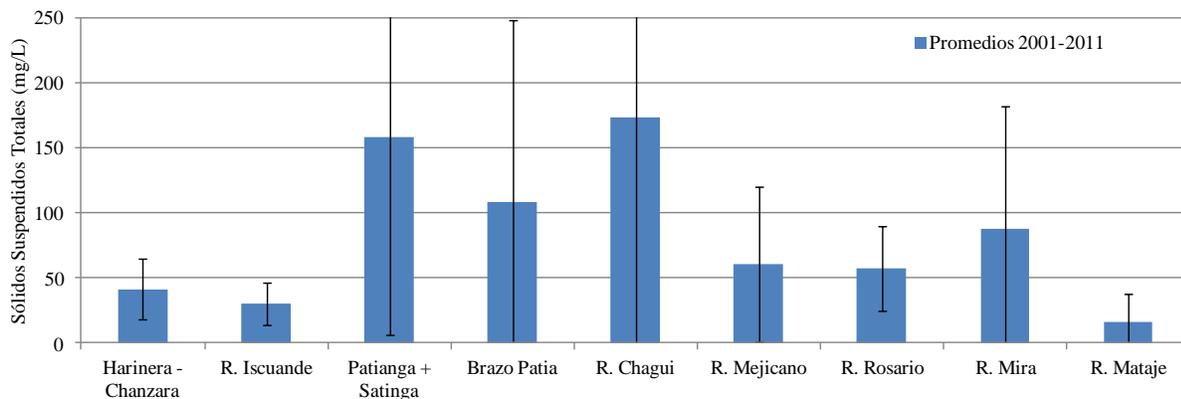


Figura 5.5-5. Promedios históricos de concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST, mg/L) medidas en aguas superficiales de los ríos de Nariño entre 2001 - 2011. Bares de error representan cálculos de la desviación estándar.

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), en términos de nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) y amonio (NH_4), mostraron diferencias significativas temporalmente, con niveles más altos en la época seca que la época lluviosa ($p < 0,05$; Figura 5.5-6). Los ríos tuvieron las concentraciones más altas de NID en comparación con las aguas estuarinas y marinas, mostrando que los ríos representan un aporte importante de nitrógeno a la zona costera. En general la principal entrada de nitrógeno al medio costero es a través de los ríos en forma de NO_3 , sin embargo, algunos estaciones estuarinas, como las playas Pasacaballos, Sala-Honda y el puente el Pindo mostraron altas proporciones de NH_4 , particularmente en la época seca, indicando aportes cercanos de aguas residuales sin tratar a estas zonas. Aunque niveles altos de NH_4 no han sido consistentes, históricamente en estas estaciones se han presentado concentraciones de la misma magnitud en años anteriores como en 2005 y 2007 (INVEMAR, 2011).

Algunas estaciones tuvieron concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS) más altos en la época seca que la época lluviosa, sin embargo, la diferencia entre las dos épocas no es significativa ($p > 0,05$; Figura 5.5-7). Especialmente, se encuentra que los niveles más altos de FRS están en el área de la Bahía Tumaco, con mayor aporte de los ríos Chagui, Mejicano y en las estaciones estuarinas del municipio de Tumaco. Estos resultados muestran la relación entre los centros poblados y el contenido de FRS en las aguas

adyacentes. Además, las concentraciones registradas son superiores a los valores históricamente registrados en las estaciones del municipio de Tumaco (promedio: $20,1 \pm 15,0$ P- $\text{PO}_4\mu\text{g/L}$; (INVEMAR, 2011).

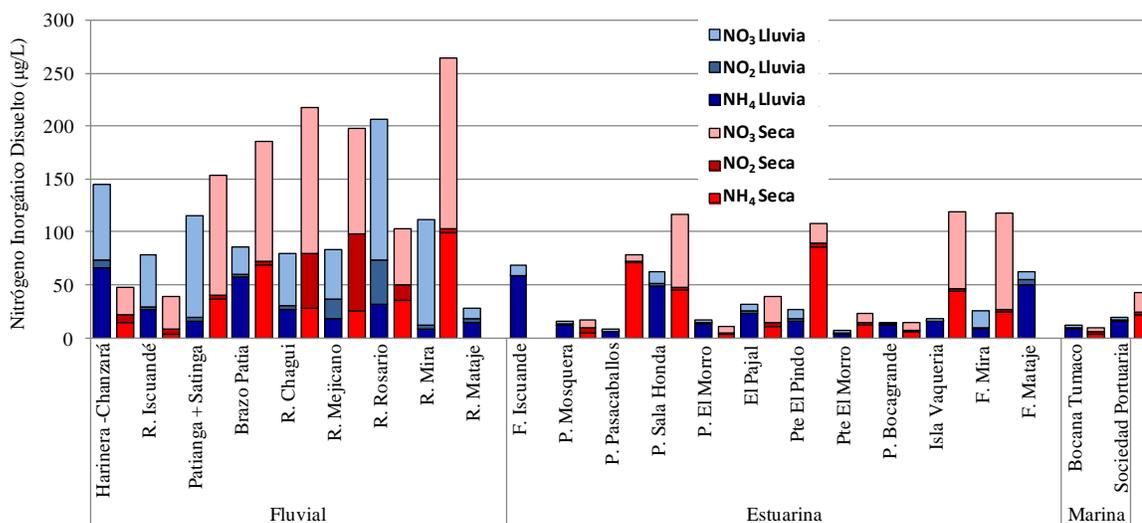


Figura 5.5-6. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto ($\mu\text{g/L}$) en las formas de amonio (NH_4), nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3) en aguas superficiales del departamento de Nariño en la época lluviosa 2010 y seca 2011.

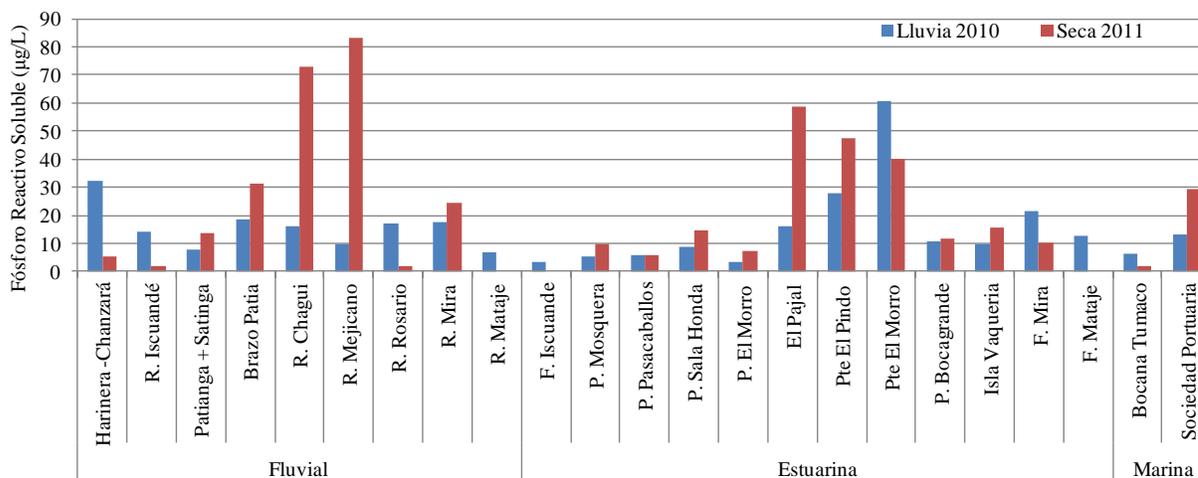


Figura 5.5-7. Concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS, $\mu\text{g/L}$) medidos en estaciones de aguas superficiales de Nariño en las épocas lluviosa 2010 y seca 2011.

5.5.2 Contaminación Microbiológica

Los muestreos realizados en época lluviosa del 2010 y seca del 2011, muestran que las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal no presentaron diferencias entre épocas ($p > 0,05$). Las densidades de coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE) estuvieron en un rango entre 17 -16.000 NMP/ 100 mL, con el valor más alto en las estaciones Puente el Pindo y playa Sala

Honda, debido a la influencia del municipio de Tumaco, el cual descarga residuos líquidos y sólidos sin tratar sobre la zona marino – costera alterando la calidad microbiológica. En términos generales, esta población puede verter entre el 35- 40 % de los residuos sólidos y cerca de un 90 % de los residuos líquidos al mar, constituyendo en la actualidad uno de los principales problemas de contaminación del municipio (Troncoso *et al.*, 2009; CCO y CPPS, 2008).

Además de la estación Puente el Pindo, los ríos Mataje, Mira, Patía y Patianga - Satinga presentaron concentraciones microbianas superiores a los valores de referencia establecidos en la legislación nacional para aguas de contacto secundario como la pesca y para el riego de frutas y hortalizas (Figura 5.5-8. Minsalud, 1984). Garantizar las condiciones microbiológicas adecuadas contribuye con el bienestar de las poblaciones que se benefician directa e indirectamente de estos ecosistemas, tal es el caso de la pesquería artesanal basada en la extracción de moluscos, crustáceos y pesca blanca. En aguas contaminadas es posible que estos productos puedan albergar en su sistema microorganismos patógenos que generen afectaciones sobre la salud del animal o de los consumidores (Garay *et al.*, 2006).

Los beneficios de las poblaciones a partir de los cuerpos de agua no se concentran solo en la pesca. El uso de las playas para el desarrollo del turismo juega un papel fundamental en el ámbito social y económico, y depende de las condiciones sanitarias. En este sentido, es importante notar que durante el presente periodo la estación de Playa Sala Honda fue la única estación de balneario que no presentó condiciones óptimas de calidad para el desarrollo de actividades recreativas. Desde el año 2002, esta playa ha presentado de manera recurrente (90 %) condiciones microbiológicas insuficientes para la realización de actividades de baño y natación (INVEMAR, 2011), debido a la descarga de aguas servidas del municipio Francisco Pizarro y de la influencia del río Patía, que recibe los residuales domésticos de las poblaciones ribereñas y los transporta a la zona costera (Garay *et al.*, 2006).

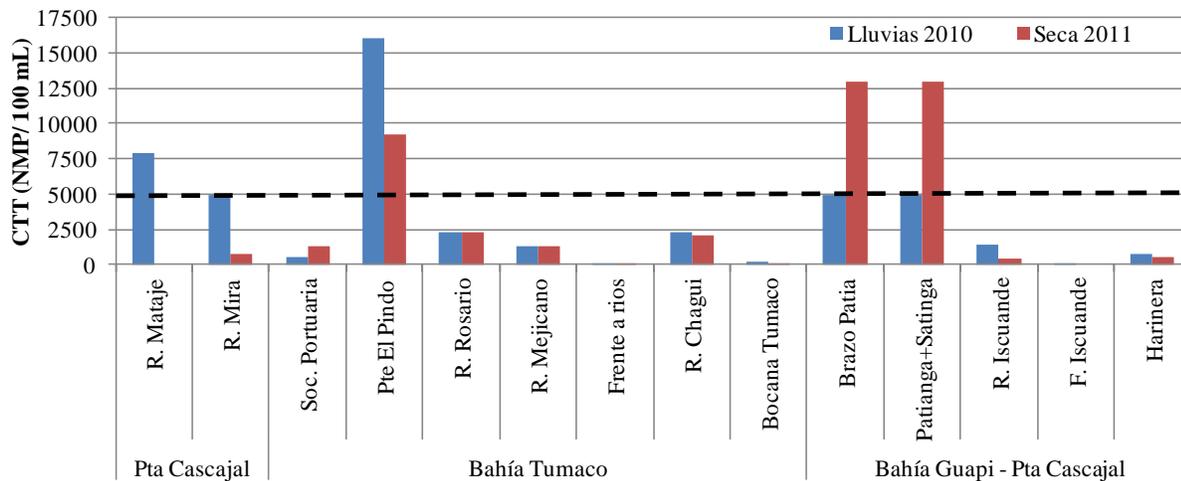


Figura 5.5-8. Concentración de coliformes totales y termotolerantes en aguas superficiales de Nariño.

5.5.3 Hidrocarburos

En la época de lluvias de 2010 los valores más altos de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos - HDD se registraron en la Bahía interna de Tumaco frente a Sociedad Portuaria (1,34 µg/L), Puente el Pindo (0,71 µg/L), mientras que en la época seca del 2011, se registraron en los ríos Mira (0,71 µg/L) y frente al río Mira (0,76 µg/L), Puente el Pindo (1,07 µg/L) e Isla Vaqueria (0,73 µg/L), concentraciones asociadas posiblemente a la actividad portuaria, aguas de sentina, transporte marítimo, aguas servidas, residuos aleosos y manejo inadecuado de mangueras en las estaciones de venta de combustibles, a pesar de lo

anterior las concentraciones registradas no superaron el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas propuesto por la (UNESCO, 1984; Figura 5.5-9).

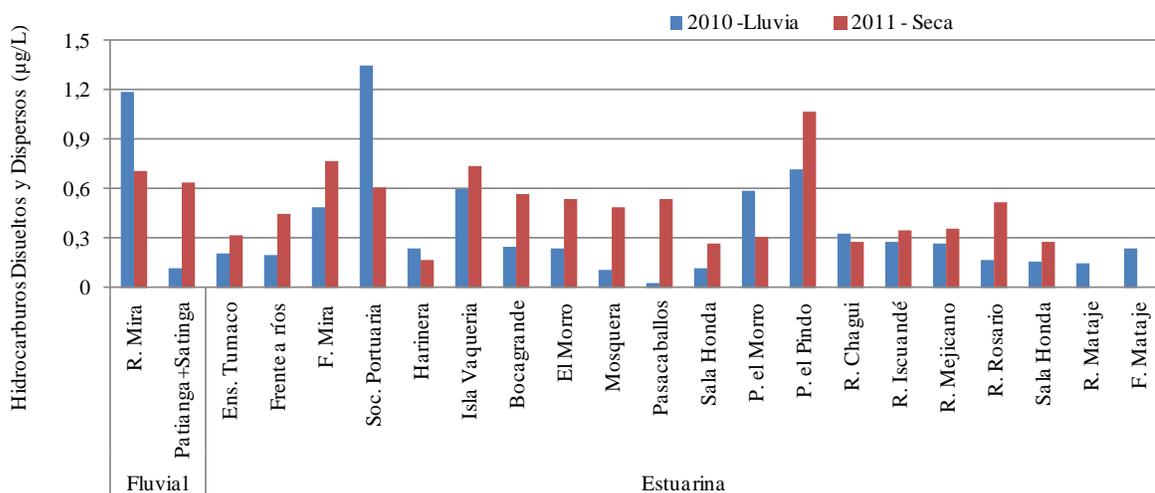


Figura 5.5-9. Hidrocarburos disueltos y dispersos medidos en aguas de Nariño, en la época lluviosa de 2010 y seca de 2011.

El análisis de hidrocarburos se inició en el 2001 hasta la actualidad en él, se ha encontrado que los ríos Mira, Patía, Iscuandé y Mataje, y las estaciones ubicadas en la Bahía interna de Tumaco, son los que más aportan hidrocarburos a la zona costera del departamento, debido al lavado de los suelos de las cuencas de estos ríos y a la influencia de las actividades antes mencionadas. En la época de seca de 2001, se registraron concentraciones por encima del valor de referencia (10 µg/L) en las estaciones Frente Río Tapaje (33,7 µg/L), Río Mataje (21,24 µg/L), Frente Río Iscuandé (19,9 µg/L), Bocana del río Iscuandé (13,4 µg/L), río Iscuandé (13,0 µg/L) y río Mira (11,35 µg/L). Después de 2001 las concentraciones de HDD detectadas en aguas superficiales han estado por debajo del valor de referencia (Figura 5.5-10).

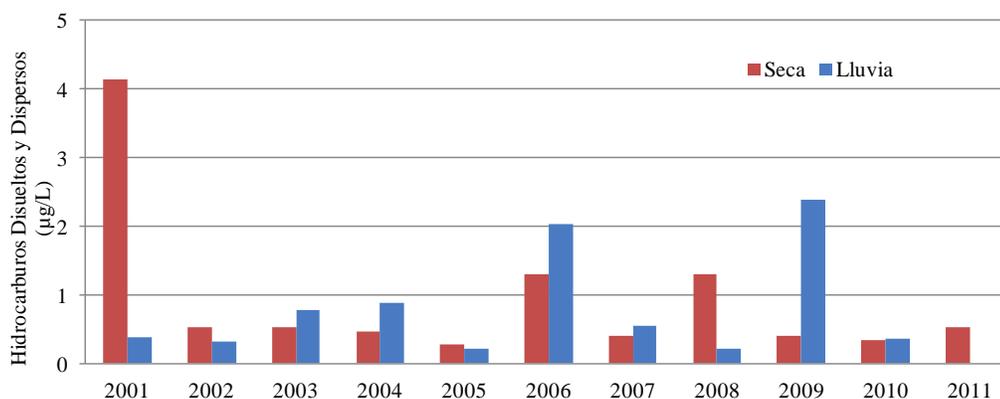


Figura 5.5-10. Promedios históricos de hidrocarburos medidos en aguas superficiales de Nariño, entre 2001 y 2011.

5.5.4 Metales Pesados

Los estudios sobre contaminación por metales pesados en Nariño, han sido puntuales y en su mayoría realizados en la ensenada de Tumaco, no se tienen otros datos de la calidad marina que abarquen la totalidad de la zona costera del departamento, por lo cual el monitoreo adelantado por la REDCAM desde

2001, se convierte en un buen acercamiento del estado de las aguas costeras de esta zona. En las cuencas de varios ríos del departamento se realizan actividades de extracción de oro, especialmente en los Municipios de Barbacoas, Magüi, Sotomayor y Cumbitara, cuyos residuos son drenados al río Patía. Las costas del departamento de Nariño, como el caso de la ensenada de Tumaco, hacen parte de un sistema ecológico complejo donde se llevan a cabo procesos diversos: de transporte, mezcla, morfodinámicos, trofodinámicos, energéticos y químicos, entre otros. Influidos externamente por los factores atmosféricos (precipitación, radiación solar, vientos), oceánicos (olas, mareas, corrientes), terrestres (nutrientes y sedimentos), antropogénicos (desechos industriales y domésticos) lo cual favorece que se presenten grandes fluctuaciones en las condiciones del medio, de una u otra forma pueden explicar el comportamiento y la presencia de algunos de los tóxicos analizados (Garay y Vélez, 2004).

Durante el monitoreo REDCAM se han analizado los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) en las aguas superficiales. En el periodo comprendido entre la época de lluvias de 2010 y la época seca de 2011, las concentraciones estuvieron por debajo de los niveles de riesgo para efectos agudos en aguas marinas referenciados en guías internacionales para este tipo de aguas (Pb 210 µg/L, Cd 40 µg/L y Cr 50 µg/L, Buchman, 2008; Conama, 1986). En general el Pb fue el elemento que ha presentado las mayores concentraciones ($5,81 \pm 4,74$ y $3,83 \pm 3,45$ µg/L en la época seca y de lluvias, respectivamente), las mayores concentraciones se registraron en las estaciones río Mira (14,20 µg-Pb /L) y Frente Ríos (12,40 µg-Pb/L) durante la época seca y en las estaciones Harinera Chanzará (10,76 µg-Pb /L) y Frente ríos (10,43 µg-Pb /L) en la época de lluvias de 2010. Se evidencia una tendencia temporal de este elemento ya que durante el muestreo de secas aumentaron las concentraciones especialmente en las estaciones ubicadas hacia el sur del departamento (Figura 5.5-11).

Las concentraciones de cadmio (Cd) en el 90 % de las estaciones estuvo por debajo del límite de detección de la técnica, únicamente en las estaciones F. Mataje (0,29 µg-Cd/L) y R. Mataje (0,48 µg-Cd/L) época seca y en la estación puente el Pindo (0,41 µg-Cd/L) en la época de lluvias fueron detectadas trazas de este elemento. En cuanto a el cromo (Cr) se registraron los mayores valores en las estaciones P. Bocagrande (5,24 µg-Cr/L) y Harinera - Chanzara (5,05 µg-Cr/L) en la época seca y en la estación F. Mira (1,65 µg-Cr/L) en la época de lluvias de 2010, se evidencia una mayor presencia de este contaminante en la época seca (Figura 5.5-11), no obstante estos valores están por debajo de los niveles de riesgo para efectos agudos en aguas marinas referenciados internacionalmente (50 µg-Cr/L, Conama, 1986), lo cual indica un bajo riesgo para el ambiente marino costero por este elemento.

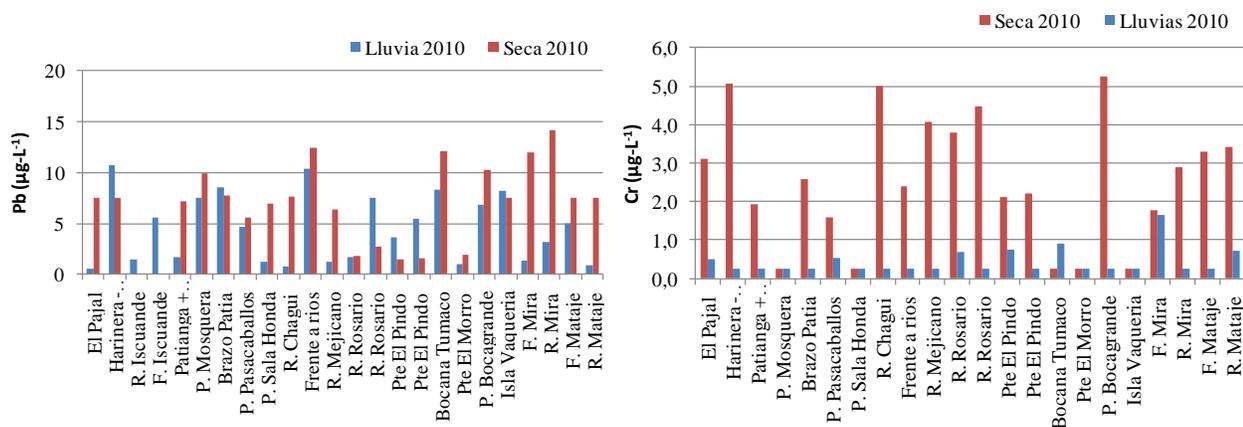


Figura 5.5-11 Concentraciones de plomo (Pb, µg/L) y Cromo (Cr, µg/L) medidas en aguas superficiales del departamento de Nariño, en la época seca y de lluvias de 2010.

Durante el monitoreo REDCAM en Nariño se han analizado estos elementos desde la época seca de 2001, en general las mayores concentraciones de Pb y Cd se registraron en el año 2001 y en la época seca de 2002. El plomo ha mostrado una clara tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo, las mayores concentraciones promedio ($40,6 \pm 5,83$ y $47,7 \pm 5,61$ $\mu\text{g-Pb/L}$) se registraron en las en la época de lluvias de 2001 y la época seca de 2002 (Figura 5.5-12), sin embargo, durante el monitoreo no se han registrado valores que rebasen el nivel de riesgo para este elemento (210 $\mu\text{g-Pb/L}$, [Buchman, 2008](#)). Por otra parte las mayores concentraciones promedio de Cd se registraron en la época seca de 2001 y de lluvias de 2009 ($2,05 \pm 0,59$ y $3,07 \pm 0,18$ $\mu\text{g-Cd/L}$ respectivamente), igualmente, tampoco se han registrado valores que rebasen las guías internacionales para efectos agudos en aguas marinas (40 $\mu\text{g-Cd/L}$, [Buchman, 2008](#)), en general las concentraciones de este elemento han mostrado una tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo, a excepción de la época de lluvias de 2009 que presentó un incremento en la concentración.

A nivel histórico las concentraciones de Cr no han mostrado una tendencia a lo largo del monitoreo, las mayores concentraciones se registraron en la época seca de 2008 y 2010 ($2,01 \pm 0,86$ y $2,55 \pm 1,66$ $\mu\text{g-Cr/L}$, respectivamente; Figura 5.5-12), no obstante estas concentraciones son inferiores al valor de riesgo referenciado en normatividad internacional (50 $\mu\text{g-Cr/L}$, [Conama, 1986](#)), no obstante se debe seguir el monitoreo de este elemento para evidenciar la fuente de su constante presencia en las aguas del departamento que puede estar relacionada a las actividades mineras que se desarrollan en las cuencas de los ríos.

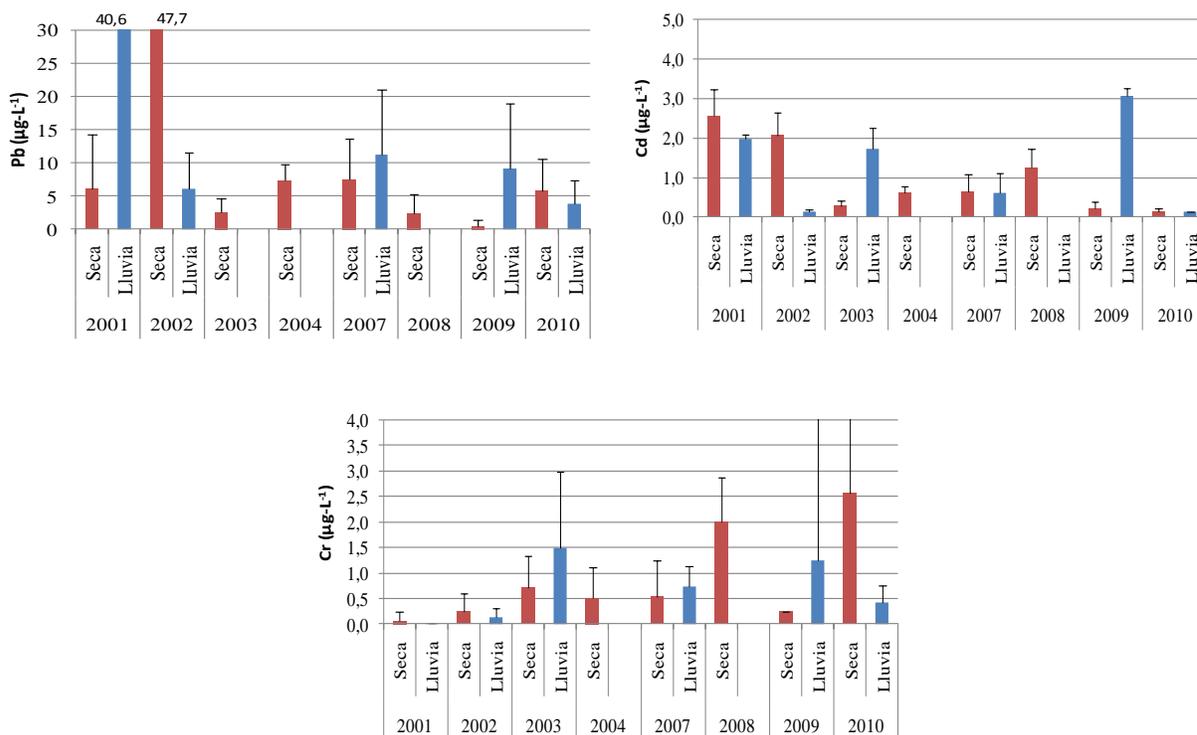


Figura 5.5-12 Comportamiento histórico de la concentración promedio de plomo (Pb, $\mu\text{g/L}$), cadmio (Cd, $\mu\text{g/L}$) y cromo (Cr, $\mu\text{g/L}$) medidas en aguas superficiales del departamento de Nariño, en las épocas climáticas lluvias y seca.

5.5.5 Conclusiones

Los valores de salinidad presentaron variaciones entre estaciones y épocas de muestreo, los cuales fueron más bajos durante la época lluviosa en comparación con la época seca, cambios que están asociados con procesos hidrodinámicos como régimen de mareas, las precipitaciones y la ocurrencia del fenómeno climático de La Niña. Así mismo, se presentaron valores de OD por debajo del límite permisible en algunos sitios de carácter estuarino en las épocas lluviosa y seca, los cuales sugerirían un riesgo general para la vida acuática, sin embargo, los registros se mantienen dentro del rango de valores que históricamente se presenta en esta región.

Los resultados del último período mostraron que la mayor carga de sedimentos y nutrientes a la zona costera fue a través de los ríos Patianga y Chagui. Adicionalmente el municipio de Tumaco también juega un papel principal en la contribución de sedimentos y nutrientes, dando importancia al manejo de la zona costera de la Bahía de Tumaco y destacando la necesidad de tratar las aguas residuales domésticas.

Igualmente, la deficiencia en los sistemas de tratamientos de los residuos sólidos y líquidos de los municipios costeros contribuyen con el deterioro de la calidad microbiológica de las aguas marino costeras, razón por la cual durante el presente período la estación Playa Salahonda no presentó condiciones microbiológicas aptas para el desarrollo de actividades de contacto primario y secundario, en tanto que la estación Puente el Pindo, los ríos Mataje, Mira, Patía y Patianga–Satinga mostraron condiciones sanitarias insuficientes para actividades como la pesca y el riego de frutas y hortalizas de tallo corto.

En relación a los contaminantes químicos, los registros de hidrocarburos en el último periodo son inferiores al valor de referencia ($<10 \mu\text{g/L}$) por lo cual no representarían riesgo de contaminación; y los resultados de metales pesados, muestran un descenso de las concentraciones de Cd y Pb a lo largo del monitoreo, con valores que están por debajo de los referenciados en guías internacionales como de riesgo. Igual sucede con los valores de cromo, sin embargo, aunque no se evidencia problemas de contaminación por estos metales en las aguas del departamento, se recomienda continuar con su monitoreo ya que su constante presencia puede deberse a las actividades mineras que se generan en las cuencas de los ríos.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, W.F. 2011. Megacities as Sources for Pathogenic Bacteria in Rivers and Their Fate Downstream. *International Journal of Microbiology*. 13p.
- Ackerman, D y S. Weisberg. 2003. Relationship between rainfall and beach bacterial concentrations on Santa Monica Bay beaches. *Journal of Water and Health*. 1:85-89.
- ADRA-Agencia para el desarrollo Nacional de Antioquía. 2006. Subregión Urabá antioqueño. <http://www.adra.org.co/Documentos/RelacionesCorporativas/Subregiones/Caracterizacion/Uraba.pdf>. 31/08/2010.
- Alcaldía Mayor de Riohacha. 2008. Plan de Desarrollo 2008-2011. Sector agropecuario. Acuerdo N. 005 de 2008. Oficina asesora de planeación municipal. Riohacha. 245 p.
- Alcaldía Municipal de Manaure. 2006. Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Manaure, La Guajira. Capítulo 2 Subsistema Económico. Manaure. 199 p.
- Ansari, T.M., L.I. Marr y N. Tarid. 2004. Heavy metals in marine pollution perspective – A mini review. *Journal of Applied Sciences* 4(1): 1-20.
- APHA/AWWA/WEF. 2005. Standard Methods for the examination of water and wastewater. APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WEF (Water Environment Federation). Washington. 570 p.
- ArandaCirerol, N., J.A. Herrera-Silveira, F.A. Comín. 2006. Nutrient water quality in a tropical coastal zone with groundwater discharge, northwest Yucatán, Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68: 445-454.
- Arcos, M.P., S.L. Ávila de Navia, S. M. Estupiñán y A. C. Gómez. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA* 3 (4): 69-79.
- Arévalo, M.D. y A. Franco, 2008. Características oceanográficas de la urgencia frente a la Ensenada de Gaira, departamento del Magdalena, época seca menor de 2006. *Santa Marta. Boletín de Investigaciones Marinas Costeras*, 37(2): 131-162.
- Arvanitidou, M., K. Kanellou, V. Katsouyannopoulos y A. Tsakris. 2002. Occurrence and densities of fungi from northern Greek coastal bathing waters and their relation with faecal pollution indicators. *Water Research* 36: 5127 – 5131.
- Atwood D.K., F.J. Burton, J.E. Corredor, G.R. Harvey, A.J. Mata-Jiménez, A. Vásquez-Botello y B.A. Wade. 1988. Petroleum Pollution in the Caribbean. *Oceanus*. 30(4): 25-32.
- Baird, C. 2001. *Química Ambiental*. Editorial Reverté S.A. Barcelona, 622p.
- Barrera, S., 2001. Plan nacional de gestión de aguas residuales. Primer informe de avance. Ministerio del medio Ambiente y Universidad de los Andes. Bogotá. 86 p.
- Beamonte, E., A. Casino, E. Veres y J. Bermúdez. 2004. Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana. *Estadística Española*. 46 (156): 357 - 384
- 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.
- Bianucci, S.P., A.R. Ruperto, C.A. Depettris y M.T. Clemente. 2005. Aplicación de indicadores de impacto ambiental al estudio de calidad de aguas continentales: caso de la laguna Los Lirios, Resistencia, Argentina. *Comunicaciones científicas y tecnológicas. Resumen T-0.38*. UNNE: www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-038.pdf
- Bordalo, A., R. Onrassami y C. Dechsakulwatana. 2002. Survival of faecal indicator bacteria in tropical estuarine water (Bangpakong River, Thailand). *Journal of Applied Microbiology*. 93: 864-871.

- Boyd C.E. 2000. Water quality: An introduction. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA
- Brodie J. y Mitchell A. 2005. Nutrients in Australian tropical rivers: changes with agricultural development and implications for receiving environments. *Marine and Freshwater Research* 56:279-302.
- Brownell, M.J., V.J. Harwooda, R.C. Kurzb, S.M. McQuaiga, J. Lukasikc y T.M. Scottc. 2007. Confirmation of putative stormwater impact on water quality at a Florida beach by microbial source tracking methods and structure of indicator organism populations. *Water Research* 41: 3747 – 3757.
- 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, 34p.
- Burton, J. 2003. Integrated Water Resources Management on a Basin Level: A training manual. UNESCO. 240 p.
- Casas, L. 2009. Extent of Escherichia Coli Contamination of Cagayan De Oro River and Factors Causing Contamination. *Liceo Journal of Higher Education Research*. 6 (1): 249- 268
- Castro L.A, J.M. Betancourt y R. Casanova. 2001. Influencia de la marea en la variación de los niveles de parámetros hidroquímicos en el Pacífico Colombiano (Ensenada de Tumaco)”. *Boletín científico del CCCP*, 7:52-65.
- Cedeño, C.J., J. Gonzales y S. Guiza. 2001. Compilación y análisis de datos geoquímicos de metales traza en algunas zonas del río Magdalena (Colombia). *Ingeominas*. 59 pp.
- CCCP- Centro Control Contaminación del Pacífico. 2001. Caracterización y Evaluación del Litoral Pacífico – Fase VIII. Informe técnico. CCCP. San Andrés de Tumaco. Colombia.
- Cifuentes, J.L., P. Torres y M. Frías. 2003. El Océano y sus recursos III. Las ciencias del mar. 3a edición. Editorial Fondo de Cultura Económica. México D.F. 174 p.
- Cognetti, G., M. Sara y G. Magazzu. 2001. Los factores físicos y químicos. 37 – 74. En: Cognetti, G. (Ed.). *Biología Marina*. Editorial Ariel S.A, Barcelona, 617 p.
- Comisión Colombiana del Océano - CCO y Comisión Permanente del Pacífico Sur- CPPS. 2008. Efectos adversos generados por la basura marina y conformación del grupo de trabajo para reducir su ingreso al medio marino de la bahía de San Andrés de Tumaco. Informe técnico final. 47 p.
- CONAMA - Consejo Nacional del Medio Ambiente de Brasil. 1986. Resolución CONAMA N° 20, de 18 de junio de 1986. 18 pp.
- Concejo Municipal de Fonseca. 2008. Plan de Desarrollo Municipal, 2008-2011, Acuerdo N° 15. La Guajira, Fonseca, Colombia: Concejo Municipal de Fonseca, Departamento de la Guajira. 30 de Mayo de 2008. 64 p.
- Cormagdalena - Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena. 2009. Boletín de prensa N° 32. <http://www.cormagdalena.com.co>. 30/10/2009.
- Corpoguajira-Corporación Autónoma Regional de La Guajira. 2009. Plan de Gestión Ambiental Regional- PGAR 2009-2019. Oficina Asesora de Planeación. 29 de Septiembre de 2009. Riohacha. 226 p.
- Corpoguajira-Corporación Autónoma Regional de La Guajira. 2011. Atlas Ambiental del Departamento de La Guajira. Riohacha. 189 p.
- Corpouraba-Corporación para el desarrollo sostenible del Urabá. 2008. Agua, recurso de vida. Litografía Dinámica. Medellín. 77 p.
- Coulliette. D.A y R. T. Noble. 2008. Impacts of rainfall on the water quality of the Newport River Estuary (Eastern North Carolina, USA). *Journal of Water and Health*. 6: 473-482
- CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2002. Plan de Gestión Ambiental Regional del Departamento del Cauca. CRC. Popayán. 209 p.
- DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2005. Censo de población y vivienda 2005. Sistema de consulta REDATAM. www.dane.gov.co/censo2005. 14/03/2011.

- DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2009. Sistema de Consulta Información Censal. Censo 2005 DANE. Censo básico. Procesado con Redatam+SP, Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), CEPAL, Santiago, Chile. 26 de febrero 2009. <http://www.dane.gov.co/>
- DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2010. Encuesta de Calidad de Vida 2010: Presentación de resultados Región Pacífico. http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/calidad_vida/ECV_2010_Region_Pacifica.pdf
- DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2011. Censo General 2005-Información básica – DANE- Colombia. <http://www.dane.gov.co.02/09/11>
- DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2011. Colombia. Proyecciones de población municipales por área 2005 - 2020. http://www.dane.gov.co/daneweb_V09/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=7.06/11/2011.
- Davies, C., J. Long, M. Donald y N. Ashbolt. 1995. Survival of fecal microorganisms in marine and freshwater sediments. *Applied and Environmental Microbiology*. 61 (5): 1888 – 1896.
- DNP- Departamento Nacional de Planeación. 2007. 2019 Visión Colombia II Centenario. Aprovechar el territorio marino-costero en forma eficiente y sostenible. Propuesta para discusión. Excelsior. Bogotá. 101 p.
- Dorfman, M., K. Sinclair y N. Stoner. 2009. Sources of Beach Water Pollution and Strategies for Reduction. Capítulo 1. En: *A Guide to Water Quality at Vacation Beaches*. NRDC - The Natural Resources Defense Council. 19 edición. 453 p.
- Dufour, A., O. Evans, T.D. Behymer y C. R. Cantú. 2006. Water ingestion during swimming activities in a pool: A pilot study. *Journal of Water and Health*. 4: 425-430.
- Escobar, J. 2002. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Naciones Unidas. CEPAL - SERIE Recursos naturales e infraestructura N° 50. 68 p.
- Espinosa L.F (Ed.). 2010. Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente Marino en los Países del Pacífico Sudeste. Caso Colombia. INVEMAR, CPPS. Santa Marta. 147 p.
- 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.
- Gabutti, G., A. De Donno, F. Bagordo y M.T. Montagna. 2000. Comparative survival of fecal and human contaminants and use of *Staphylococcus aureus* as an effective indicator of human pollution. *Marine Pollution Bulletin*. 40: 697–700.
- Garay, J y Vélez A.M. 2004. Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar – PNICM. INVEMAR. Santa Marta. 110p.
- Garay, J. 1993. Implicaciones ambientales portuarias de Cartagena MARPOL 73/78. *Bol. Cient. CIOH* 14: 47- 66.
- Garay, J.; G. Ramirez; J. Betancourt; B. Marín; B. Cadavid; L.Panizzo; J. Lesmes; H. Sanchez y A. Franco. 2003a. 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, 177p.
- Garay, J.A., B. Marín, N. Calvano, G. Ramírez, W. Troncoso, O.L. Medina, A.M. Vélez, H. Lozano, B. Cadavid, J. Acosta, A. Lancheros y M. Rondón. 2001. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la protección y conservación de la calidad de las aguas marinas y costeras. Tomo II. Informe Final. INVEMAR. 260 p.
- Garay, J.A., Marín, B.G., Vivas, J. y L.Espinosa (Eds). 2004. Atlas de la calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia. Instituto de Investigaciones marinas y Costeras – INVEMAR. Santa Marta, Serie de documentos generales No 17-1. 231 p.
- Garay-Tinoco, J.A., D.I. Gómez-López and J. R. Ortíz- Galvis (Eds). 2006. Integral diagnosis on the biophysical and socioeconomic impact related to the effect of pollution from land based activities on the pacific coastal zone

Tumaco bay, Colombia and basic guidelines for a management plan. Project of The United Nations Environment Programme (UNEP), The Global Plan Of Action (GPA), and The South Pacific Permanent Commission (SPPC). The Institute of Marine and Coastal Research “Jose Benito Vives De Andreis” - INVEMAR, Pacific Pollution Control Centre - CCCP, The Regional Autonomous Corporation Of Nariño - CORPONARIÑO, Santa Marta, 290 p

- Garbagnatti, M., P. González, R.I. Antón y M.A. Mallea. 2005. Características fisicoquímicas, capacidad buffer y establecimiento de la línea base ambiental del río Grande, San Luis, Argentina. *Revista ecología Austral*, 15:59-71
- García-Valencia C. (Ed.) 2007. Atlas del Gofio de Urabá: Una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR y Gobernación de Antioquia. Serie de publicaciones especiales. 12. Santa Marta. 180 p.
- Gobernación Departamental de La Guajira. 2005. Plan de Desarrollo Departamental de La Guajira 2004-2007 (17 de 05 de 2005). La Guajira Productiva y Competitiva, en la onda de la investigación para el desarrollo. Riohacha. 175 p.
- Guerrero, E.; E. Podelsky y M. Restrepo. 1980. Estudio de la contaminación por mercurio en un estuario tropical (Bahía de Cartagena, Colombia S.A.) y evaluación de la magnitud de sus efectos sobre una población expuesta, 1976 – 1979. Informe técnico.
- Herrera, A y P. Suárez. 2005. Indicadores bacterianos como herramientas para medir la calidad ambiental del agua costera. *Interciencia* 30 (3): 171-176.
- Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world’s coral reefs. *Marine and Freshwater Research* 50: 839-866.
- Hose, G., G. Gordon, F.E. McCullough, N. Pulver y B.R. Murray. 2005. Spatial and rainfall related patterns of bacterial contamination in Sydney Harbour estuary. 3:349-358.
- IDEAM. 2010. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de “La Niña”. Boletín No. 18. 6 p. <http://www.imarpe.gob.pe/enso/Pronosticos/Nov%202006/IDEAM-06abr2011.pdf>. 16/08/2011.
- IDEAM. 2010. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de “La Niña”. Boletín No. 21. 7 p. <http://www.imarpe.gob.pe/enso/Pronosticos/Nov%202006/IDEAM-06abr2011.pdf>. 16/08/2011.
- IDEAM. 2011. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de “La Niña”. Boletín No. 28. 6 p. <http://www.imarpe.gob.pe/enso/Pronosticos/Nov%202006/IDEAM-06abr2011.pdf>. 16/08/2011.
- IDEAM. 2011. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de “La Niña”. Boletín No. 30. 5 p. <http://www.imarpe.gob.pe/enso/Pronosticos/Nov%202006/IDEAM-06abr2011.pdf>. 16/08/2011.
- IDEAM. 2011a. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de “La Niña”. Boletín No. 29. 22 de marzo de 2011 17/11/2011.
- IDEAM. 2011b. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de “La Niña”. Boletín No. 24. 06 de enero de 2011 8/11/2010.
- IDEAM. 2011c. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de “La Niña”. Boletín No. 31. 15 de abril de 2011 18/11/2011.
- IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2002. Atlas de Colombia. 5 ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Imprenta Nacional, Bogotá. 320
- IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2008. Atlas básico de Colombia. 7 ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Imprenta Nacional, Bogotá. 704 p.
- INGEOMINAS, 1998. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe colombiano. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Pacífico colombiano. Publicación geológica especial # 21. Bogotá, 111 p.
- INVEMAR. 2003. Programa holandés de asistencia para estudios de cambio climático, Colombia: Definición de la vulnerabilidad de los sistemas bio-geofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (Caribe Continental, Caribe Insular y Pacífico) y medidas para su adaptación. VII

- Tomos, Resumen Ejecutivo y CD-Atlas Digital. Programa de Investigación para la Gestión Marina y Costera - GEZ, Santa Marta, Colombia. ISBN: 958-97264-2-9.
- INVEMAR. 2011a. Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia – SIAM. Base de datos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. <http://www.invemar.org.co/siam/redcam>. 22/10/2011.
- INVEMAR. 2011b. Red de Información y Datos del Pacífico sudeste para el apoyo a la gestión integrada del Área Costera. Fase I; Informe Técnico de Avance UNESCO Fase I, Santa Marta (Versión en revisión), 30p.
- James, R. J. 2000. From beaches to beach environments: linking the ecology, human-use and management of beaches in Australia. *Ocean & Coastal Management*. 43: 495-514
- Lapointe, B.E. 1997. Nutrient Thresholds for Bottom-Up Control of Macroalgal Blooms on Coral Reefs in Jamaica and Southeast Florida. *Limnology and Oceanography*, Vol. 42, No. 5, Part 2: The Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms. (Jul., 1997), pp. 1119-1131.
- Lévesque, B y D. Gauvin. 2007. Microbiological guideline values for recreational bathing in Canada: Time for change? *The Canadian Journal of Infectious Diseases & Medical Microbiology*. 18 (2):153 – 157.
- Lonin, S., C. Parra, C. Andrade y Thomas Y. 2007. Patrones de la Pluma Turbia del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH*. 22: 77-88.
- Mallin, M. K. Williams, C. Esham y P. Lowe. 2000. Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. *Ecological applications*. 10 (4): 1047 – 1056.
- Marciales, C. y M. Duarte, 1989. Determinación de Cd, Cu, Cr, Pb y Zn en sedimentos de la Bahía de Cartagena. *Mem. VI Sem Nal Cien. Tecnol Mar*, Diciembre 5-6 y 7: 314-324.
- MAVDT/Corpogujaira/Fundación ProSierra. 2009. Registro de usuarios del recurso hídrico con sus respectivos protocolos en la cuenca piloto del río Rancheria, Departamento de La Guajira. Convenio 029 de 2009. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Corporación Autónoma Regional de La Guajira y Fundación ProSierra Nevada de Santa Marta. Riohacha, Colombia. Litoflash. 202 p.
- MinDesarrollo - Ministerio de desarrollo económico. 2000a. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS-2000. Sección II, Título E. Tratamiento de Aguas Residuales. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá. 144 p.
- MinDesarrollo - Ministerio de desarrollo económico. 2000b. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS-2000. Sección II, Título F. Sistemas de Aseo Urbano. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá. 219 p.
- Minsalud - Ministerio de Salud. 1984. Decreto No. 1594 del 26 de junio. 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. 61 p.
- Moscarella, M.V., F. García y Palacio C. 2011. Calidad Microbiológica del agua de la Bahía de Santa Marta, Colombia. *Revista Dyna*, 167:132-141.
- MOW, M.J., C. AGUILERA y S. TABET. 2001. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Corporación Autónoma Regional y de Desarrollo del Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina –CORALINA-. 64 p
- Narváez, S., Gomez –Garcia, M.L; Salcedo-Ramírez, M.A. 2010. Influencia de las lluvias en la calidad microbiológica de las aguas recreativas de la Bahía Gaira y Santa Marta. Pp 499-503. En: INVEMAR-ACIMAR (Eds). Libro de resúmenes extendidos XIV Seminario Nacional de Ciencias y Tecnología del Mar (SENALMAR). Serie de publicaciones especiales de Invemar No. 21. Santa Marta. 578p.
- Noble, R., M. Leecaster, C. Mcgee, S. Weisberg y K. Ritter. 2004. Comparison of bacterial indicator analysis methods in stormwater-affected coastal waters. *Water Research*. 38: 1183 – 1188.
- Noble, R., S Weisberg, M. Leecaster, C. McGee, J. Dorsey, P. Vainik.y V. Orozco-Borbon. 2003. Storm effects on regional beach water quality along the southern California shoreline. *Journal of Water Health* 01(1): 23-31.

- Observatorio del Programa Presidencial de Derechos Humanos y DIH. 2004. Algunos indicadores sobre la situación de los derechos humanos en la región del Urabá antioqueño, Colombia. <http://www.reliefweb.int/library/documents/2004/govcol-col-27oct11.pdf>. 07/09/2010.
- OMS - (Organización Mundial de la Salud). 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Coastal and fresh waters, vol. 1. Ginebra, 219 p.
- OMS - Organización Mundial de la Salud O. 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: Coastal and fresh waters. 219 p. Comparison of culture-based Prats, J., T. Garcia-Armisen, J. Larrea y P. Servais. 2007. Comparison of culture – based methods to enumerate *Escherichia coli* in tropical and temperate freshwaters. *Letters in Applied Microbiology*. 46: 243-248.
- Parra, J.P. y L.F. Espinosa. 2007. Acumulación de Pb, Cd y Zn en sedimentos asociados a la especie de mangle *Rhizophora mangle* en el Río Sevilla, Ciénaga Grande de Santa Marta. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 120: 347-354.
- PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Alcaldía de Cartagena de Indias, EPA Cartagena - Establecimiento Público Ambiental de Cartagena, Observatorio del Caribe Colombiano. 2009. Perspectivas del medio ambiente urbano: GEO Cartagena. Cartagena, 164 p.
- PNUMA. 2008. Guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales (agua, suelos/sedimentos y biota). Manual del Programa del Monitoreo Costero del Proyecto GEF-REPCar. PNUMA Programa Ambiental del Caribe. Kingston. 121p.
- Posada B.O., W. Henao y G. Guzmán. 2009. Diagnóstico de la erosión y sedimentación en la zona costera del Pacífico colombiano. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 17, Santa Marta, 148 p.
- Posada O. y G. Guzmán. 2007. Aspectos físicos del medio marino y costero. 13-24. En: INVEMAR. 2007. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2006. Serie de publicaciones periódicas No. 8. Santa Marta, 378 p.
- Posada, B.O y Henao, W.2008. Diagnostico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. INVEMAR, Serie de publicaciones especiales No. 13, Santa Marta, 200 p.
- Ramos-Ortega, L., L. Vidal, S. Vilaridy, y L. Saavedra-Díaz. 2008. Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Acta Biológica Colombiana*. 13 (3): 87 – 98.
- Restrepo J.D. y B. Kjerfve, 2000. Water discharge and sediment load from the western slopes of the Colombian Andes with focus on Rio San Juan. *The Journal of Geology* 108: 17–33.
- Restrepo J.D., P. Zapata, J.M. Díaz, J. Garzón-Ferreira, C. García y J.C. Restrepo. 2005. Aportes fluviales al mar Caribe y evaluación preliminar del impacto sobre los ecosistemas costeros. 189-215. En: Restrepo J.D. Los sedimentos del río Magdalena: Reflejo de la crisis ambiental. Universidad EAFIT. Medellín. 189–215.
- Restrepo, J. D. y B. Kjerfve. 2004. The Pacific and Caribbean Rivers of Columbia: water discharge, sediment transport, and dissolved loads. In: *Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments*. L. D. de Lacerda, R. E. Santelli, E. K. Duursma and J. J. Abrao (eds.). Environmental Science. Springer Verlag, Berlin. pp. 169-187.
- Roldan, P. A., 2008. Modelamiento del patrón de circulación de Bahía Colombia, Golfo de Urabá. Implicaciones para el transporte de sedimentos. Tesis Maestría Ingeniería recursos Hidráulicos. Universidad Nacional. Medellín, 97p.
- Salas, H. 2000. Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad del agua en el medio marino. En <http://www.ingenieroambiental.com/4014/historia.pdf>. Diciembre de 2009
- Salas, J. 2004. El Cerrejón y sus efectos: una perspectiva socioeconómica y ambiental. Efectos Negativos o Insatisfactorios. Biblioteca Virtual Banco de la República de Colombia Luis Ángel Arango: Bogotá. 19 p.
- Sampson, R.W, S.A. Swiatnicki, V.L. Osinga, J.L. Supita, C.M. McDermott y G. T. Kleinheinz. 2006. Effects of temperature and sand on *E. coli* survival in a northern lake water microcosm. *Journal of Water and Health*. 4:389-393

- Savichtcheva, O. y Sokabe, S. 2006. Alternative indicators of fecal pollution: Relations with pathogens and conventional indicators, current methodologies for direct pathogen monitoring and future application perspectives. *Water Research*. 40: 2463 – 2476
- Seóanez, M. 2000. Manual de contaminación marina y restauración del litoral. Edit. Mundi-Prensa. México, 538 p.
- Serguei, L., C. Parra, C. Andrade, y. Thomas. 2003. Patrones de la pluma turbia del canal del Dique en la bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH*. No. 22.77–90 pp
- Shibata, T., H. M. Solo-Gabriele, L. E. Fleming y S. Elmir. 2004. Monitoring marine recreational water quality using multiple microbial indicators in an urban tropical environment. *Water Research* 38: 3119–3131
- Silva, N. y D. Guerra. 2008. Distribución de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes en el canal Pulluche-Chacabuco. Chile (crucero CIMAR o fiordos). *Revista Ciencia y Tecnología del mar*. 31(2): 29-43.
- SSPD-Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios. 2009. Publicación de coberturas de acueducto y alcantarillado 2009. http://www.superservicios.gov.co/home/c/document_library/get_file?uuid=677a85f2-4604-4bfe-b163-6cacbbe9c0d9&groupId=10122. 06/09/2010.
- Stevens, M., N. Ashbolt y D. Cunliffe. 2003. Review of coliforms. Australian Government. National Health and Medical Research Council. 43p.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios - SUPERSERVICIOS. 2008. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia 2008. 14p. Disponible en: www.superservicios.gov.co. 8/11/2008.
- Tejada, C., L. Castro. A. Navarrete. T. Cardona, L. Otero, F. Afanador, A. Mogollón y W. Pedroza. 2003. Panorama de la Contaminación Marina del Pacífico Colombiano. Centro Control Contaminación del Pacífico Colombiano. Ed. DIMAR. Serie Publicaciones Especiales Vol. 3, San Andrés de Tumaco, 120 pp.
- Troncoso, W., L. Vivas, J. Sánchez, S. Narvaez, L. Echeverry y J. Parra. 2009. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia - REDCAM. Informe técnico 2009. INVEMAR. Santa Marta, 185p.
- Troncoso, W, Vivas, J., Narvaez, S., Sánchez, J., Echeverri, L. y Parra, J.P. 2009. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico Colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas Marinas y Costeras de Colombia. 185pp.
- 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.
- UNESCO. 1984. Manuales y guías No. 13 de la COI. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. 87 p.
- UNESCO. 1984. Manuales y guías No. 13 de la COI. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del
- USEPA. 2000. Improved Enumeration Methods for the Recreational Water Quality Indicators: Enterococci and *Escherichia coli*. Office of Science and Technology. Washington, DC. EE.UU. 49 p.
- Vega-Sequeda, J., R. Navas-Camacho, K. Gómez-Campo, T. López-Londoño, D. Duque. 2011. Estado de los Ecosistemas Marinos y Costeros. En: INVEMAR. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2010. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8. Santa Marta.
- Vivas-Aguas, J., L. M. Tomic, J. Sánchez, S. Narvaez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt, J. Parra, L. Echeverri y L. Espinosa. 2010. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia - REDCAM. Informe técnico 2010. INVEMAR. Santa Marta, 208p.
- Yepes, V. 1999. Las playas en la gestión sostenible del litoral. Cuadernos de turismo. 4: 89-110.