

Panorama de la contaminación MARINA DEL PACÍFICO COLOMBIANO 2005 - 2010



ISBN: 978-958-57723-0-4



PANORAMA DE LA CONTAMINACIÓN MARINA DEL PACÍFICO COLOMBIANO 2005 - 2010



“Panorama de la Contaminación Marina del Pacífico Colombiano 2005–2010”

CONTRALMIRANTE Ernesto Durán González
Director General Marítimo

CAPITÁN DE FRAGATA Rafael Ricardo Torres Parra
Director Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico-Cccp.

Autores

Investigadores Cccp:

Robinson Fidel Casanova Rosero, MSc en Gestión e Ingeniería Ambiental
Mónica María Zambrano Ortiz, Cand. PhD. en Ciencias Biológicas
Eliana Velasco Vinasco, Bióloga Marina
Diana Esperanza Rodríguez Cuitiva, Microbióloga.
Germán Augusto Escobar Olaya, MSc en Gestión de Zonas Costeras y Estuáricas

Investigadores Invemar:

Silvia Narváez Flórez, MSc en Ciencias Ambientales
Paola Bautista Duarte, MSc en Ciencias Biológicas con énfasis en Microbiología
Julián Mauricio Betancourt Portela, Cand. MSc en Ingeniería Ambiental
Juan Pablo Parra, Químico.

Dirección Editorial:

Capitán de Corbeta Ricardo De La Rosa Namén.
Robinson Fidel Casanova Rosero, MSc en Gestión e Ingeniería Ambiental

Revisores Externos:

PhD Gustavo Arencibia Carballo - Centro de Investigaciones Pesqueras – CIP de Cuba
PhD Guillermo Duque - Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira.

Colaboradores:

Suboficial Tercero, Alfreyar Carrillo, Tecnólogo en Ciencias del Mar

Editorial DIMAR

Diseño y Diagramación: Wolfgang Álvarez Zamora
Edición y Corrección de Estilo: Francisco Quintero C.
Impresión: IMPRESOS RICHARD

Citar esta obra como:

DIMAR-CCCP. 2012. Panorama de la contaminación marina del Pacífico colombiano 2005-2010. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. Serie Publicaciones Especiales Vol. 7, San Andrés de Tumaco, Colombia. 158 pp.

Citar por capítulos:

Autores. 2012. Título del capítulo. Pp. (intervalo de páginas). En: DIMAR-CCCP. 2012. Panorama de la contaminación marina del Pacífico colombiano 2005-2010. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. Serie Publicaciones Especiales Vol. 7, San Andrés de Tumaco, Colombia. 158 pp.

ISBN: 978-958-57723-0-4

© copyright - Ninguna parte de este libro puede ser reproducida, almacenada en sistema recuperable o transmitida en ninguna forma o por ningún medio electrónico, fotocopia, grabación u otros, sin el permiso escrito de los editores.

CONTENIDO

| | Página |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN..... | 17 |
| CAPÍTULO I. GENERALIDADES DE LA COSTA PACÍFICA COLOMBIANA..... | 23 |
| 1.1 COSTA PACÍFICA COLOMBIANA..... | 25 |
| 1.1.1 BAHÍA DE BUENAVENTURA..... | 25 |
| 1.1.2 BAHÍA DE TUMACO..... | 27 |
| 1.1.3 BAHÍA DE MÁLAGA..... | 27 |
| 1.2 CONTAMINACIÓN DEL MEDIO MARINO..... | 27 |
| 1.3 ALGUNAS FUENTES Y MEDIOS DE ENTRADA DE CONTAMINANTES AL AMBIENTE MARINO COSTERO DEL PACÍFICO COLOMBIANO..... | 29 |
| 1.3.1 CONTAMINACIÓN DE ORIGEN TERRESTRE..... | 29 |
| 1.3.1.1 Aguas Residuales..... | 29 |
| 1.3.1.2 Residuos Sólidos..... | 30 |
| 1.3.1.3 Erosión..... | 33 |
| 1.3.1.4 Minería..... | 33 |
| 1.3.1.5 Industria de Aserriós..... | 33 |
| 1.3.1.6 Ríos..... | 34 |
| 1.3.1.7 Industria Pesquera..... | 34 |
| 1.3.1.8 Turismo..... | 35 |
| 1.3.2 CONTAMINACIÓN DE ORIGEN MARÍTIMO Y/O PORTUARIO..... | 35 |
| CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE FÍSICO..... | 37 |
| 2.1 GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA..... | 39 |
| 2.2 HIDROLOGÍA..... | 39 |
| 2.2.1 SERRANÍA DEL BAUDÓ..... | 39 |
| 2.2.2 DELTA DEL RÍO SAN JUAN..... | 39 |
| 2.2.3 DELTA DEL PATÍA..... | 40 |
| 2.2.4 DELTA DEL RÍO MIRA..... | 41 |
| 2.3 ASPECTOS METEOROLÓGICOS..... | 41 |
| 2.4 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS..... | 42 |
| 2.5 ASPECTOS BIOFÍSICOS..... | 42 |
| 2.5.1 ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS DEL LITORAL PACÍFICO COLOMBIANO..... | 43 |
| 2.5.1.1 Manglares..... | 44 |
| 2.5.1.2 Lagunas Costeras y Estuarios..... | 45 |
| 2.5.1.3 Arrecifes Coralinos..... | 45 |
| 2.5.1.4 Playas y Acantilados..... | 46 |
| 2.5.1.5 Fondos Sedimentarios..... | 49 |
| 2.5.1.6 Áreas Marinas Protegidas..... | 50 |
| 2.5.1.7 Comunidad Planctónica..... | 55 |
| 2.6 ORGANISMOS BIOINDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN EN EL PACÍFICO COLOMBIANO..... | 58 |
| 2.6.1 ALGAS..... | 59 |
| 2.6.1.1 Algas Microscópicas Planctónicas..... | 59 |
| 2.6.2 MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS..... | 61 |
| 2.7 ORGANISMOS BIOMONITORES DE LA CONTAMINACIÓN EN EL PACÍFICO COLOMBIANO..... | 61 |
| 2.7.1 ALGAS..... | 61 |
| 2.7.2 ÁRBOLES DE MANGLAR..... | 61 |
| 2.7.3 MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS..... | 62 |

| | |
|--|--|
| CAPÍTULO III. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS, USOS DEL SUELO Y LEGISLACIÓN AMBIENTAL..... | 63 |
| 3.1 | POBLACIÓN.....65 |
| 3.2 | ASPECTOS ECONÓMICOS.....65 |
| 3.3 | INDICADORES SOCIALES.....65 |
| 3.4 | LEGISLACIÓN AMBIENTAL MARINA.....66 |
| 3.4.1 | LEGISLACIÓN NACIONAL RELACIONADA CON LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MARINA.....66 |
| 3.4.2 | LEGISLACIÓN INTERNACIONAL ADOPTADA POR COLOMBIA RELACIONADA CON LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MARINA.....66 |
| 3.4.3 | LA DIRECCIÓN GENERAL MARÍTIMA FRENTE A LA INVESTIGACIÓN MARINA.....69 |
| CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN DE ALGUNOS CONTAMINANTES EN EL PACÍFICO COLOMBIANO..... | 71 |
| 4.1 | PRINCIPALES SUSTANCIAS CONTAMINANTES EN EL LITORAL PACÍFICO COLOMBIANO.....73 |
| 4.1.1 | CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS.....73 |
| 4.1.1.1 | Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en el agua.....74 |
| 4.1.1.2 | Monitoreo de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en sedimentos.....77 |
| 4.1.2 | OTROS PARÁMETROS EN LA BAHÍA DE TUMACO.....79 |
| 4.1.2.1 | Materia Orgánica y Carbono Orgánico.....79 |
| 4.1.2.2 | Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en organismos.....79 |
| 4.1.3 | CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS.....81 |
| 4.1.4 | CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS.....85 |
| 4.1.4.1 | Monitoreo de Metales Pesados en el Agua.....85 |
| 4.1.4.2 | Monitoreo de Metales Pesados en Sedimentos.....87 |
| 4.1.5 | AGUA DE LASTRE.....87 |
| 4.1.5.1 | Parámetros Físico-Químicos del Agua de Lastre.....89 |
| 4.1.5.2 | Caracterización Planctónica.....90 |
| 4.1.5.3 | Caracterización Microbiológica.....92 |
| 4.2 | CALIDAD DEL AGUA.....93 |
| 4.2.1 | ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BAHÍA DE TUMACO.....94 |
| 4.2.1.1 | Transparencia.....94 |
| 4.2.1.2 | Salinidad.....95 |
| 4.2.1.3 | Temperatura.....95 |
| 4.2.1.4 | Sólidos Suspendidos.....95 |
| 4.2.1.5 | El pH.....96 |
| 4.2.1.6 | Oxígeno Disuelto.....96 |
| 4.2.1.7 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).....96 |
| 4.2.1.8 | Oxidabilidad Química de la Materia Orgánica Total.....96 |
| 4.2.1.9 | Nutrientes.....100 |
| 4.2.1.10 | Índices Tróficos.....100 |
| 4.2.2 | OTROS TÓPICOS EN LA BAHÍA DE TUMACO.....101 |
| 4.2.2.1 | Seguimiento de parámetros físico-químicos durante 24 horas en la bahía de Tumaco.....101 |
| 4.2.2.2 | Demanda de Oxígeno en Sedimentos (DOS) en tres estaciones de la ensenada de Tumaco.....105 |
| 4.2.2.3 | Evaluación microbiológica de la calidad del agua en la bahía de Tumaco.....105 |
| 4.2.3 | ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BAHÍA DE BUENAVENTURA.....109 |
| 4.2.3.1 | Transparencia.....109 |

| | | |
|---|---|------------|
| 4.2.3.2 | Salinidad..... | 109 |
| 4.2.3.3 | Temperatura superficial..... | 110 |
| 4.2.3.4 | Sólidos suspendidos..... | 110 |
| 4.2.3.5 | pH..... | 110 |
| 4.2.3.6 | Oxígeno Disuelto..... | 111 |
| 4.2.3.7 | Demanda Bioquímica de Oxígeno..... | 111 |
| 4.2.3.8 | Oxidabilidad Química de la Materia Orgánica Total..... | 111 |
| 4.2.3.9 | Nutrientes..... | 112 |
| 4.2.3.10 | Índices Tróficos..... | 112 |
| 4.2.4 | ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BAHÍA DE MÁLAGA..... | 112 |
| 4.2.4.1 | Transparencia..... | 113 |
| 4.2.4.2 | Salinidad..... | 113 |
| 4.2.4.3 | Temperatura Superficial..... | 114 |
| 4.2.4.4 | Sólidos Suspendidos..... | 114 |
| 4.2.4.5 | pH..... | 114 |
| 4.2.4.6 | Oxígeno Disuelto..... | 114 |
| 4.2.4.7 | Demanda Bioquímica de Oxígeno..... | 114 |
| 4.2.4.8 | Oxidabilidad Química de la Materia Orgánica..... | 114 |
| 4.2.4.9 | Nutrientes..... | 114 |
| 4.2.4.10 | Índices de eutrofización (IE)..... | 114 |
| 4.2.5 | EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN LAS ZONAS COSTERAS DEPARTAMENTALES DEL PACÍFICO COLOMBIANO..... | 117 |
| 4.2.5.1 | Chocó..... | 117 |
| 4.2.5.2 | Valle del Cauca..... | 119 |
| 4.2.5.3 | Cauca..... | 122 |
| 4.2.5.4 | Nariño..... | 123 |
| CAPÍTULO V. ESCENARIOS ANTE UN DERRAME DE HIDROCARBUROS..... | | 127 |
| 5.1 | POSIBLE DESPLAZAMIENTO DE UNA MANCHA DE PETRÓLEO ANTE UN DERRAME EN LA BAHÍA DE TUMACO..... | 129 |
| 5.2 | POSIBLE DESPLAZAMIENTO DE UNA MANCHA DE PETRÓLEO ANTE UN DERRAME EN LA BAHÍA DE BUENAVENTURA..... | 132 |
| | INFERENCIAS BIOÉTICAS..... | 133 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 135 |
| | AGRADECIMIENTOS..... | 154 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|------------|---|-----|
| Tabla 1.1 | Descargas directas de aguas residuales domésticas a la bahía de Tumaco desde viviendas palafíticas. Estimadas según Metcal & Eddy, 1995..... | 30 |
| Tabla 1.2 | Descargas directas de aguas residuales domésticas a la bahía de Buenaventura desde viviendas palafíticas. Estimadas según Metcal & Eddy, 1995..... | 30 |
| Tabla 1.3 | Cargas de sólidos aportadas al Pacífico colombiano a través de algunos ríos..... | 34 |
| Tabla 2.1 | Algunas características de los principales ríos del Pacífico colombiano..... | 40 |
| Tabla 2.2 | Listado de diatomeas, dinoflagelados y otros reportados para el Pacífico colombiano..... | 56 |
| Tabla 2.3 | Listado de diatomeas, dinoflagelados y otros reportados para la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano..... | 56 |
| Tabla 2.4 | Listado grupos zooplanctónicos reportados para el Pacífico colombiano..... | 57 |
| Tabla 2.5 | Listado taxonómico del ictioplancton reportado en la corriente de Colombia..... | 57 |
| Tabla 2.6 | Registro taxonómico del ictioplancton superficial reportado para la cuenca del Pacífico colombiano | 58 |
| Tabla 2.7 | Floraciones reportadas para el Pacífico colombiano..... | 59 |
| Tabla 2.8 | Especies registradas en la cuenca del Pacífico colombiano, que han sido reportadas como potencialmente tóxicas en otras regiones..... | 60 |
| Tabla 3.1 | Compilado de normativas nacionales relacionado con mares y costas..... | 67 |
| Tabla 3.2 | Convenios o programas internacionales que establecen directrices para prevenir y/o minimizar la contaminación marina..... | 68 |
| Tabla 4.1 | Niveles de Concentración para Efectos Crónicos (NEC) en aguas para diferentes compuestos organoclorados..... | 84 |
| Tabla 4.2 | Registro de plaguicidas de uso actual en aguas del Pacífico colombiano..... | 85 |
| Tabla 4.3 | Comportamiento histórico de los rangos de concentración de cadmio, plomo y cromo en los departamentos de Chocó, Cauca y Nariño, Pacífico colombiano..... | 86 |
| Tabla 4.4 | Comportamiento histórico de los rangos de concentración de cadmio, plomo y cromo en la zona de la bahía de Tumaco, departamento de Nariño, Pacífico colombiano (Tomado de base de datos Redcam; Invemar, 2011)..... | 86 |
| Tabla 4.5 | Abundancia de los grupos zooplanctónicos encontrados en agua de lastre en buques de tráfico internacional..... | 89 |
| Tabla 4.6 | Abundancia de grupos fitoplanctónicos encontrados en agua de lastre en buques de tráfico internacional..... | 90 |
| Tabla 4.7 | Microorganismos identificados con el BBL Crystal..... | 108 |
| Tabla 4.8 | Concentración de coliformes totales en época climática seca y de lluvia en aguas fluviales del departamento de Chocó durante los años 2006-2010..... | 118 |
| Tabla 4.9 | Rangos de coliformes termotolerantes en época climática seca y de lluvia en estaciones de aguas estuarinas del departamento de Chocó durante los años 2006-2010..... | 118 |
| Tabla 4.10 | Análisis histórico de las concentraciones de coliformes totales y termotolerantes medidas en aguas marinas, estuarinas y fluviales del departamento de Valle del Cauca durante el período 2006-2010..... | 119 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|------------|---|-----|
| Tabla 4.11 | Concentración promedio de coliformes termotolerantes y totales en aguas fluviales durante la época seca y lluviosa del período 2006–2010 y relación con los criterios establecidos en la legislación nacional para aguas destinadas a contacto primario y secundario..... | 121 |
| Tabla 4.12 | Calidad de las aguas recreacionales del departamento de Valle del Cauca para la realización de actividades de contacto primario y secundario, según los criterios de calidad microbiológica establecidos en el decreto 1594 de 1984, período 2006-2010..... | 121 |
| Tabla 4.13 | Porcentaje de incumplimiento para realizar actividades de contacto secundario durante los años 2006 a 2010 en época seca y de lluvia en tres zonas del departamento del Cauca..... | 123 |
| Tabla 4.14 | Concentración de coliformes termotolerantes en época climática seca y de lluvia de aguas recreacionales en el departamento del Cauca durante los años 2006-2010..... | 123 |
| Tabla 4.15 | Análisis histórico de las concentraciones de coliformes totales y Termotolerantes medidas en aguas marinas, estuarinas y fluviales del departamento de Nariño durante el período 2006-2010..... | 124 |
| Tabla 4.16 | Calidad del agua del departamento de Nariño para la realización de actividades de contacto primario y secundario según los criterios de calidad microbiológica establecidos en el decreto 1594 de 1984, período 2006-2010..... | 125 |
| Tabla 4.17 | Calidad del agua para actividades recreacionales en el departamento de Nariño para la realización de actividades de contacto primario y secundario (CTT<5.000 NMP), según criterios de calidad microbiológica establecidos en el Decreto 1594 de 1984, período 2006-2010..... | 126 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 1.1 | Estaciones de muestreo en las bahías del Pacífico colombiano..... | 26 |
| Figura 1.2 | Esquema conceptual general acerca de la contaminación marina para el Pacífico colombiano..... | 28 |
| Figura 1.3 | Viviendas palafíticas, fuentes de contaminación directa del medio marino costero..... | 30 |
| Figura 1.4 | Campañas de limpieza. a) Materiales extraídos de bajamar y b) Campaña subacuática..... | 31 |
| Figura 1.5 | Limpieza permanente en playas de la bahía de Tumaco..... | 32 |
| Figura 1.6 | Disposición de aserrín en El Pindo, Tumaco..... | 34 |
| Figura 1.7 | Las playas de El Morro, en Tumaco, durante actividades masivas de recreación..... | 36 |
| Figura 1.8 | Buques en la terminal de Multiboyas, en Tumaco, durante actividades de deslastre..... | 36 |
| Figura 4.1 | Descargas de aguas residuales domésticas al medio marino..... | 73 |
| Figura 4.2 | El transporte de petróleo, una amenaza de contaminación por hidrocarburos..... | 73 |
| Figura 4.3 | Concentraciones medias de HAP en aguas de la bahía de Tumaco, período 2007-2008..... | 75 |
| Figura 4.4 | Concentraciones medias de HAP en aguas de la bahía de Buenaventura, período 2007-2008..... | 76 |
| Figura 4.5 | Figura de concentraciones medias de HAP en aguas de la bahía de Málaga, período 2007-2008..... | 76 |
| Figura 4.6 | Concentraciones medias de HAP en sedimentos de la bahía de Tumaco, durante los años 2007 y 2009..... | 77 |
| Figura 4.7 | Concentraciones medias de HAP en sedimentos de la bahía de Buenaventura, durante los años 2007 y 2009..... | 80 |
| Figura 4.8 | Concentraciones medias de HAP en sedimentos de la bahía de Málaga, durante los años 2007 y 2009..... | 80 |
| Figura 4.9 | Porcentaje de muestras en las cuales fue detectada la presencia de compuestos organoclorados en el agua. (Tomado de la base de datos Redcam, 2011)..... | 82 |
| Figura 4.10 | Porcentaje de aparición de los distintos grupos de compuestos organoclorados..... | 83 |
| Figura 4.11 | Concentración máxima de organoclorados totales (HCHs + HEPT + ALD+DDTs)..... | 83 |
| Figura 4.12 | Toma de muestras para análisis físico-químico, microbiológico y biológico en los tanques de agua de lastre de buques de tráfico internacional..... | 88 |
| Figura 4.13 | Tanques de lastre con los límites permisibles para <i>Escherichia coli</i> y <i>Enterococos</i> según la Regulación D-2 de la OMI..... | 92 |
| Figura 4.14 | Comportamiento de <i>Vibrio cholerae</i> en agua de lastre de los buques internacionales, que arribaron a la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano..... | 92 |
| Figura 4.15 | Comportamiento de otros patógenos reportados en los tanques de agua de lastre de los buques internacionales que arribaron a la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano..... | 93 |
| Figura 4.16 | Panorámica del sector del Puente El Pindo durante el período de marea baja, Tumaco..... | 94 |
| Figura 4.17 | Variabilidad de la transparencia en las estaciones de muestreo durante El período de marea baja..... | 94 |
| Figura 4.18 | Variabilidad de la salinidad en las estaciones de muestreo durante marea baja..... | 95 |
| Figura 4.19 | Turbulencia que genera remoción continua de SS en el sector adyacente a las desembocaduras de los ríos..... | 95 |
| Figura 4.20 | Variabilidad para los sólidos suspendidos en las estaciones durante marea baja..... | 96 |
| Figura 4.21 | Variabilidad para el pH en las estaciones durante marea baja..... | 97 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Figura 4.22 | Variabilidad del oxígeno disuelto en las estaciones durante marea baja..... | 97 |
| Figura 4.23 | Variabilidad de la DBO5 en las estaciones de muestreo..... | 97 |
| Figura 4.24 | Correlación entre la oxidabilidad química de la materia orgánica y DBO5..... | 98 |
| Figura 4.25 | Variabilidad de la oxidabilidad química de la materia orgánica y DBO5..... | 99 |
| Figura 4.26 | Variabilidad de las concentraciones del Ión Ortofosfato durante marea baja en la bahía de Tumaco..... | 99 |
| Figura 4.27 | Variabilidad de los niveles de amonio durante marea baja para la bahía de Tumaco..... | 99 |
| Figura 4.28 | Variabilidad de los índices tróficos para a) el ión amonio b) nitritos + nitratos y c) fosfatos de las estaciones de muestreo..... | 101 |
| Figura 4.29 | Estaciones de muestreo de ejercicios de seguimiento de 24 horas..... | 102 |
| Figura 4.30 | Comportamiento de valores de pH para a) primer y b) segundo semestre de 2008..... | 102 |
| Figura 4.31 | Comparación de valores de salinidad para el primer y segundo semestre de 2008 en a) estación 2 y b) estación 6..... | 103 |
| Figura 4.32 | Comparación de valores de salinidad para a) primer y b) segundo semestre de 2008..... | 103 |
| Figura 4.33 | Variación en la concentración de nitratos ([NO ₃]-) en un período de 24 horas: a) primer y b) segundo semestre de 2008..... | 104 |
| Figura 4.34 | Comportamiento de los valores de oxígeno disuelto durante los ejercicios de seguimiento de 24 horas realizados en a) primer y b) segundo semestre de 2008..... | 104 |
| Figura 4.35 | Comportamiento de los indicadores bacterianos en marea baja y marea alta..... | 106 |
| Figura 4.36 | Variabilidad de la presencia de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> en marea alta y marea baja en la bahía de Tumaco 2010 y 2011..... | 107 |
| Figura 4.37 | Presencia de <i>Salmonella spp.</i> y <i>Shigella spp.</i> en la bahía de Tumaco..... | 107 |
| Figura 4.38 | Presencia de <i>Vibrio cholerae</i> en la bahía de Tumaco en marea alta y marea baja..... | 108 |
| Figura 4.39 | Variabilidad de la transparencia en las estaciones de muestreo en la bahía de Buenaventura durante el período 2007-2009..... | 109 |
| Figura 4.40 | Variabilidad de la salinidad en la bahía de Buenaventura durante el período 2007-2009..... | 109 |
| Figura 4.41 | Distribución espacial de la salinidad en la bahía de Buenaventura durante el período de marea baja..... | 109 |
| Figura 4.42 | Patrón de corrientes para la bahía de Buenaventura durante: a) marea bajando y b) marea subiendo..... | 110 |
| Figura 4.43 | Distribución espacial de los sólidos suspendidos en la bahía de Buenaventura..... | 110 |
| Figura 4.44 | Comportamiento espacial del pH en la bahía de Buenaventura..... | 111 |
| Figura 4.45 | Comportamiento espacial del oxígeno disuelto para la bahía de Buenaventura..... | 111 |
| Figura 4.46 | Distribución espacial de la DBO5 en la bahía de Buenaventura..... | 111 |
| Figura 4.47 | Distribución espacial de la oxidabilidad Química de la materia orgánica en la bahía de Buenaventura..... | 111 |
| Figura 4.48 | Distribución espacial para: a) el ión amonio y b) para los nitratos en la bahía de Buenaventura durante el período de marea baja..... | 112 |
| Figura 4.49 | Índices tróficos para la bahía de Buenaventura: a) Ión amonio, b) nitritos + nitratos y c) Ión ortofosfato..... | 113 |
| Figura 4.50 | Comportamiento espacial de salinidad en bahía de Málaga para el período de marea baja..... | 113 |
| Figura 4.51 | Variabilidad del OD en la bahía de Málaga, durante marea baja..... | 115 |
| Figura 4.52 | Variabilidad de las concentraciones de OQ de la materia orgánica en la bahía de Málaga durante el período de marea baja..... | 115 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 4.53 | Variabilidad de las concentraciones nutrientes durante la marea baja en la bahía de Málaga..... | 116 |
| Figura 4.54 | Índices tróficos para las estaciones de muestreo en bahía Málaga..... | 116 |
| Figura 4.55 | Estaciones Redcam en el departamento del Chocó..... | 117 |
| Figura 4.56 | Estaciones Redcam en el departamento del Valle del Cauca..... | 120 |
| Figura 4.57 | Concentración promedio de coliformes totales y termotolerantes en las zonas de la bahía de Buenaventura durante el período 2006-2010..... | 121 |
| Figura 4.58 | Estaciones Redcam en el departamento del Cauca..... | 122 |
| Figura 4.59 | Estaciones Redcam en el departamento de Nariño..... | 124 |
| Figura 5.1 | Escenario de derrame accidental de hidrocarburos..... | 130 |
| Figura 5.2 | Primer escenario de derrame accidental de hidrocarburos en la etapa inicial y la etapa final, después de cuatro días..... | 130 |
| Figura 5.3 | Segundo escenario de derrame accidental de hidrocarburos en las etapas inicial y final, después de cuatro días..... | 131 |
| Figura 5.4 | Tercer escenario de derrame accidental de hidrocarburos, Mohid (CCCP, 2009)..... | 131 |

PRÓLOGO

La segunda edición de la publicación técnico-científica ***“Panorama de la Contaminación Marina del Pacífico Colombiano 2005 - 2010”*** brinda al lector una aproximación del estado actual de los ecosistemas del litoral Pacífico colombiano y se convierte en una valiosa herramienta técnica de consulta a tenerse en cuenta en la gestión de autoridades ambientales y gobiernos seccionales (municipios y gobernaciones) para hacerle frente a la amenaza de la contaminación marina de origen antrópico, así como en su recuperación y autodepuración.

Esta obra requirió de la dedicación de los profesionales que integran el Grupo de Investigación en Contaminación Marina del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico-Cccp, como el apoyo de los científicos del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar). Igualmente, es el resultado del valioso aporte que hicieron las diferentes Capitanías de Puerto de Guapi, Buenaventura, bahía Solano y Tumaco; y de empresas como Aque ducto, Alcantarillado y Aseo de Tumaco (Aquaseo); y de Buenaventura y Medio Ambiente (BMA), entre otros.

Este grupo de profesionales multidisciplinario del más alto nivel realizó una labor ardua en cada una de las etapas programadas como recopilación exhaustiva del procesamiento y análisis de series de datos de varios años, procesos todos que permitieron soportar los resultados y conclusiones de la presente publicación.

Esta edición de ***“Panorama de la Contaminación Marina del Pacífico Colombiano 2005 - 2010”*** va más allá de brindar resultados en espacio y tiempo. Aborda la problemática de la contaminación marina y su marcada influencia en los ecosistemas costeros, problema que está estrechamente relacionado con el aumento creciente de las poblaciones en la región costera y, de igual forma, con el incremento de las actividades domésticas, marítimas, agrícolas e industriales que, por el mal manejo e inadecuado control de los desechos sólidos y líquidos, impactan el medio ambiente marino.

Otro componente de la problemática ambiental de los ecosistemas marinos en el país, reside en que no existen, en general, normativas sobre la calidad química y sanitaria para sus aguas marinas. Esto limita la categorización de dichos ecosistemas de acuerdo con su calidad ambiental, condicionándolo a la falta de mecanismos adecuados y efectivos para mitigar las causas que originan el deterioro de la calidad de los litorales colombianos.

De ahí que esta segunda edición de ***“Panorama de la Contaminación Marina del Pacífico Colombiano 2005 - 2010”*** nos proporciona herramientas para la planificación y protección del medio ambiente marino.

Capitán de Corbeta, GERMÁN AUGUSTO ESCOBAR OLAYA
Director del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (2010 – 2011)

INTRODUCCIÓN

La Dirección del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico-Cccp, antes Centro de Control de Contaminación del Pacífico, en compromiso con la Dirección General Marítima (Dimar), y por ende con el país, exhortó a su equipo de trabajo a realizar la presente publicación especial, concerniente al panorama del estado de las principales bahías del Pacífico colombiano, en donde se consoliden e integren los resultados concernientes a niveles de contaminantes y parámetros físico-químicos en matrices ambientales marinas durante el período comprendido entre los años 2005 y 2010, en el marco de las funciones asignadas al Cccp a través del Artículo 22 del Decreto 2324/84, y que para el presente merece mencionar: “Estudiar y ejecutar proyectos de investigación y evaluación de contaminación marina en el océano Pacífico de acuerdo con programas de la Dirección General Marítima (Dimar)”.

También se aborda una descripción general de los componentes biofísicos, meteorológicos, socioeconómicos y oceanográficos, los cuales interactúan dentro de los procesos ecológicos de mutualismo, simbiosis y comensalismo, entre otros.

Desde hace más de dos décadas, diferentes entidades (Corporaciones Autónomas Regionales como la del Valle del Cauca, CVC; y la de Nariño, Corponariño; instituciones educativas como la Universidad del Valle; además del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andréis, Invemar; y del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico- Cccp, han desarrollado una serie de monitoreos puntuales encaminados a caracterizar la calidad del agua en los diferentes ecosistemas estuarinos del Pacífico colombiano.

De estas entidades relacionadas se concreta que el Cccp y el Invemar mantienen un seguimiento sistemático de parámetros relacionados con la calidad del agua: salinidad, sólidos suspendidos, pH, oxígeno disuelto, amonio, nitratos, fosfatos, clorofila a, materia orgánica, coliformes fecales y totales, hidrocarburos, metales pesados y plaguicidas organoclorados. Las otras entidades realizan monitoreos esporádicos en el tiempo y espacio. Los análisis de esta información constituyen una herramienta útil en la valoración de posibles efectos que se produzcan como respuesta a cambios y fenómenos de origen local, regional o global.

El objetivo de la presente publicación es plasmar el conocimiento técnico y científico relativo a la contaminación marina en el Pacífico colombiano durante el período 2005-2010, aunado a recomendaciones dirigidas a entidades ambientales competentes como las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), para que las tengan en cuenta y las implementen en sus respectivos proyectos anuales encaminados a la protección de los ecosistemas acuáticos.

Los principales problemas de contaminación que afrontan los ecosistemas estuarinos del Pacífico colombiano están relacionados con las descargas de sustancias provenientes de fuentes terrestres. En las áreas de Buenaventura y Tumaco, se destacan los vertimientos directos e indirectos de aguas residuales de origen doméstico, industrial, agrícola y forestal. Así mismo, se registra el ingreso de hidrocarburos asociado al transporte marítimo como a las operaciones de manejo de petróleo y sus derivados; los dragados de los canales de acceso hacia los puertos de Tumaco y Buenaventura, también alteran la calidad del agua marina. Estas acciones, entre otras, conllevan al aporte de materiales y sustancias alóctonas que perturban el equilibrio de producción y consumo de materia y/o energía, al igual que la hidrodinámica y morfodinámica de los ecosistemas marinos y/o estuarinos.

Por otra parte, se presenta el problema de la transferencia de organismos nocivos a través del lastre de los buques de tráfico internacional, identificándose como una de las cuatro amenazas de contaminación al medio marino, así como causante de la pérdida de biodiversidad, desplazamiento de comunidades nativas,

perjuicio a la salud humana y a los ecosistemas costeros.

En este ámbito, en la región del Pacífico colombiano con su línea de costa de aproximadamente 1.392 Km (Posada *et al.*, 2009); y donde se localizan las dos principales bahías: Buenaventura y Tumaco; y se asientan las dos poblaciones más grandes de la región: Buenaventura, con 324.207 habitantes; y Tumaco con 161.490 habitantes respectivamente (DANE, 2005), es necesario condensar y analizar la información físico-química, biológica, microbiológica y sustancias contaminantes obtenida por el Cccp e Invemar, que permitan evidenciar la necesidad de formular e implementar alternativas de gestión por parte de las entidades competentes para proteger o recuperar estos ecosistemas.

Finalmente, el desarrollo de esta publicación especial busca que los recursos invertidos por el gobierno nacional en los programas de monitoreo y/o vigilancia, principalmente, a través de Invemar y el Cccp sean eficaces para determinar la condición de los ecosistemas acuáticos costeros, y así comprender el impacto directo e indirecto sobre los tipos de cuerpos de agua por su interconexión, como consecuencia de las actividades realizadas en tierra y/o medio acuático.

Este trabajo busca entregar un conocimiento que permita tomar las mejores decisiones ambientales, especialmente hacia los ecosistemas marinos y/o estuarinos, que soportan el esparcimiento y la vida de una población importante de Colombia, contribuyendo al respeto de los derechos de generaciones futuras.

Siglas y Acrónimos

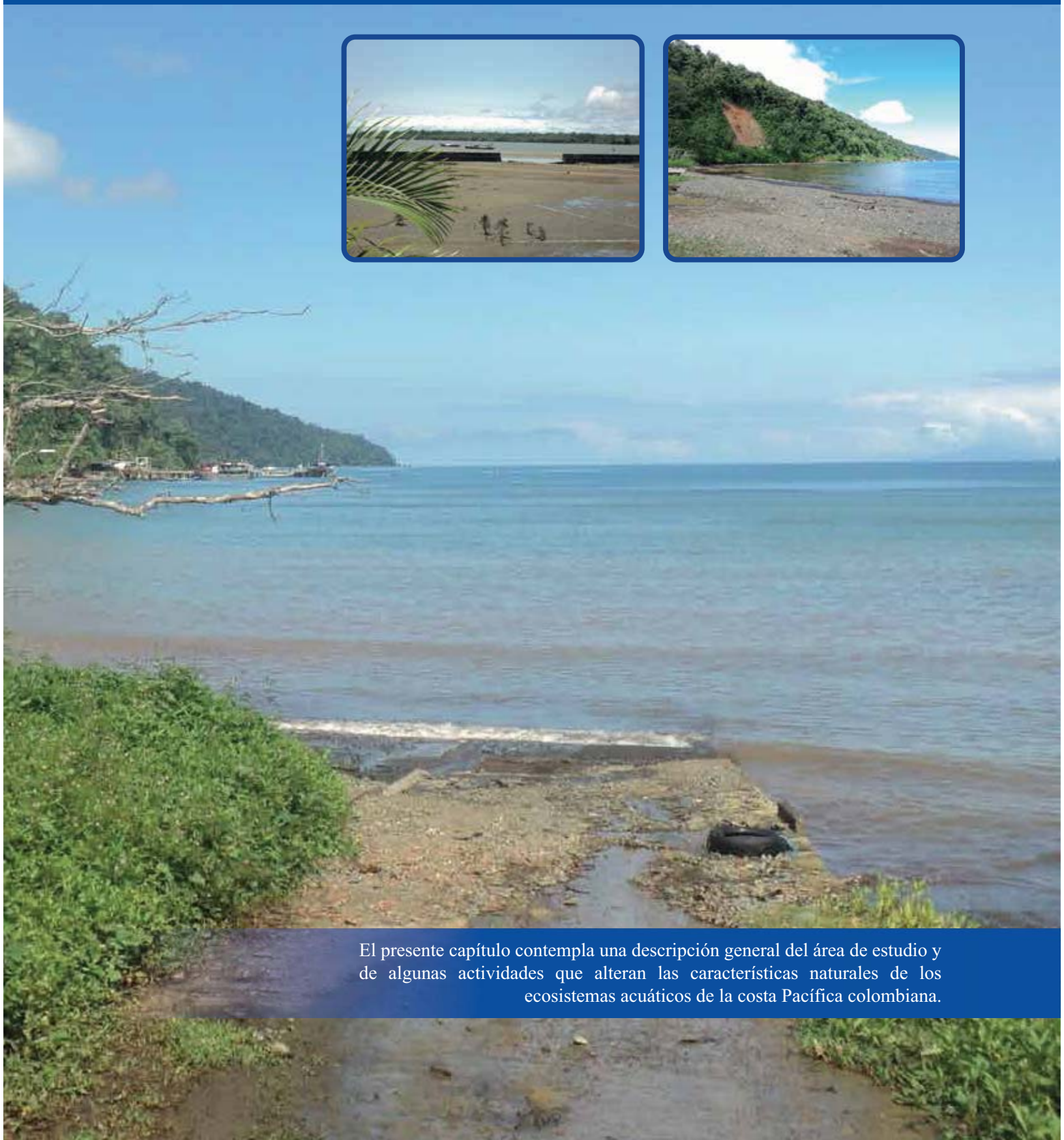
| | |
|-------------|--|
| A | Antraceno |
| Ac | Acenaftileno |
| Ace | Acenafteno |
| ALD | Aldrin |
| Aquaseo | Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Tumaco |
| BaA | Benzo[a]antraceno |
| BaPi | Benzo[a]pireno |
| BbFl | Benzo[b]fluoranteno; |
| BghiPer | Benzo[ghi]perileno |
| BkFl | Benzo[k]fluoranteno |
| BMA | Buenaventura y Medio Ambiente |
| C | Criseno |
| CAR | Corporaciones Autónomas Regionales |
| CBI | Comisión Ballenera Internacional |
| Ccbun | Cámara de Comercio de Buenaventura |
| Cccp | Centro de Control de Contaminación del Pacífico |
| CCO | Comisión Colombiana del Océano |
| Ciien | Centro de Investigación e Innovación en Energía |
| CMAR | Corredor Marino del Pacífico Este Tropical |
| COP | Compuestos Orgánicos Persistentes |
| Corponariño | Corporación Autónoma Regional de Nariño |
| Convemar | Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar |
| CP2 | Capitanía de Puerto de Tumaco |
| CPC | Cuenca Pacífica Colombiana |
| Cpps | Comisión Permanente del Pacífico Sur |
| CVC | Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca |
| DANE | Departamento Administrativo Nacional de Estadística |
| DBA | Dibenzo[ah]antraceno |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxígeno |
| Dimar | Dirección General Marítima |
| DDD | 1,1- dichloro-2,2-bis (p-cloloropenil) etano |
| DDE | 1,1-dicloro-2,2-bis (p-clorofenil) etileno |
| DDT | 1,1,1-tricloro-2,2-bis (p-clorofenil) etano |
| DNP | Departamento Nacional de Planeación |
| DOS | Demanda de Oxígeno en Sedimentos |
| DQO | Demanda Química de Oxígeno |
| Ecopetrol | Empresa Colombiana de Petróleos |
| ENDS | Encuesta de Demografía y Salud |
| ENSO | El Niño/Oscilación Sur |
| EPA | Environment Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental) |
| Erfen | Estudio Regional Fenómeno El Niño |
| F | Fenantreno |
| FAO | Organización para la Alimentación y la Agricultura |
| Fl | Fluoranteno |

| | |
|------------|---|
| Flu | Fluoreno |
| Frepata | Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats |
| GEF | Global Environment Facility (Fondo para el Medio Ambiente Mundial) |
| Gesamp | Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (Grupo de Expertos en Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino) |
| GloBallast | Global Ballast Water Management Programa Global de Gestión de Agua de Lastre |
| HAP | Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos |
| HCH | Hexa Cloro Ciclo Hexano |
| HEPT | Heptacloro |
| IAEA | Organismo Internacional de Energía Atómica |
| IARC | Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer |
| ICV | Índice de Condiciones de Vida |
| Icfes | Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación |
| Invemar | Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés |
| IPi | Indeno[1,2,3-cd]pireno |
| IUCN | International Union for Conservation of Nature (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) |
| IWQG - | Interim Water Quality Guideline (Guía Provisional de la Calidad del agua) |
| Km | Kilómetro |
| LD | Límite de Detección |
| m | Metro |
| MARETEC | Marine and Environmental Technology Research Center (Centro de Investigación tecnológica mariana y ambiental) |
| Marpol | Polución Marina |
| Mavdt | Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial |
| Minsalud | Ministerio de Salud |
| Mohid | Modelo Hidrodinámico |
| MMA | Ministerio del Medio Ambiente |
| MSNM | Metros Sobre el Nivel del Mar |
| N | Naftaleno |
| N.D | No Detectado |
| NEC | Nivel de Efectos Crónicos |
| NMP | Número Más Probable |
| NOAA | National Oceanic and Atmospheric Administration |
| OC | Organoclorados |
| OD | Oxígeno Disuelto |
| OF | Organofosforados |
| OMI | Organización Marítima Internacional |
| OPS | Organización Panamericana de la Salud |
| PAM | Programa de Acción Mundial |
| Pi | Pireno |
| Pnaoci | Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos, |
| Zonas | Costeras e Insulares de Colombia |
| PNC | Plan Nacional de Contingencia |

| | |
|----------|--|
| Pnicm | Programa de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar |
| PNN | Parque Nacional Natural |
| PNUD | Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo |
| Pnuma | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| Redcam | Red de Vigilancia de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia. |
| Rocram | Red Operativa de Cooperación Regional de Autoridades Marítimas de las Américas |
| Sgsss | Sistema General de Seguridad Social en Salud |
| SINA | Sistema Nacional Ambiental |
| SFF | Santuario de Fauna y Flora |
| Sncti | Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación |
| SPNN | Sistema de Parques Nacionales Naturales |
| SS | Sólidos Suspendidos |
| t | Tonelada |
| TSM | Temperatura Superficial del Mar |
| IUCN | International Union for Conservation of Nature |
| UAE SPNN | Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales |
| UFC | Unidades Formadoras de Colonias |
| UN | United Nations (Naciones Unidas) |
| UNEP | United Nations Environment Programme (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) |
| Unesco | Unión de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura |
| Univalle | Universidad del Valle |
| Unodc | Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito |
| UPME, | Unidad de Planeación Minero y Energético |
| WHO | World Health Organization (Organización Mundial de la Salud) |
| WMO | World Meteorological Organization (Organización Meteorológica Mundial) |
| ZCIT | Zona de Convergencia Intertropical |
| ZCN | Zona Costera Norte |
| ZEE | Zona Económica Exclusiva |

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA COSTA PACÍFICA COLOMBIANA



El presente capítulo contempla una descripción general del área de estudio y de algunas actividades que alteran las características naturales de los ecosistemas acuáticos de la costa Pacífica colombiana.

Citar este capítulo como:

Casanova, R. y M. Zambrano. 2012. Generalidades de la costa Pacífica colombiana. Pp. 23-36. En: DIMAR-CCCP. 2012. Panorama de la contaminación marina del Pacífico colombiano 2005-2010. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. Serie Publicaciones Especiales Vol. 7, San Andrés de Tumaco, Colombia. 158 pp.

1.1 COSTA PACÍFICA COLOMBIANA

Administrativamente está conformada por cuatro departamentos: Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño; tiene una línea de costa de 1.392 km comprendida entre Punta Arditá y las inmediaciones del río Mataje, en la bahía Ancón de Sardinas. Desde Cabo Corrientes hacia el norte predominan los acantilados, y hacia el sur el paisaje es bajo, con extensas llanuras intermareales, planicies aluviales, deltas e islas barrera, interrumpida a la altura de las bahías Málaga, Buenaventura y norte de Tumaco, por colinas y terrazas altas, conformadas por rocas sedimentarias (Posada *et al.*, 2009).

El Pacífico continental cuenta con un área terrestre de 131.246 km² y una zona económica de 367.823 km². Está localizado en una zona de colisión de placas tectónicas, lo cual lo hace propenso a terremotos y maremotos (DNP, 2007).

En la costa Pacífica colombiana se encuentran las dos bahías más importantes, que son: la bahía de Tumaco, con un área aproximada de 350 km², y la bahía de Buenaventura con 250 km²; también se encuentra Bahía Málaga (Figura 1.1) con un área aproximada de 126 km² (Cccp, 2008). Estas bahías tienen sus propias características que conllevan a calificarlas como ecosistemas estuarinos complejos debido a sus geometrías irregulares, cambios en anchura y profundidad, variación en el relieve del fondo marino, flujo bidireccional, flujos de agua dulce, flujo salino aguas arriba, diferencias de densidad entre las aguas dulce y salina, aportes por vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales, lechos aluviales donde factiblemente los sedimentos pueden resuspenderse por acción del oleaje producido por las corrientes superficiales y refracción de olas, entre otros.

El principal medio de comunicación entre los municipios costeros es el transporte fluvial y marítimo. En las cuencas hídricas de la costa Pacífica colombiana y áreas de influencia se presentan alteraciones como consecuencia de la deforestación, erosión, implementación de monocultivos, vertimiento de residuos sólidos, derrames de petróleo, aguas residuales domésticas

e industriales, extracción de material de arrastre en los ríos, utilización de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas, en donde los ríos se constituyen en un medio de transporte de sustancias que alteran la calidad del agua de las bahías y ecosistemas asociados.

A las aguas del Pacífico colombiano se vierten, según estimativos, cerca de 87.211 m³/día de aguas residuales, provenientes principalmente de Buenaventura y Tumaco (CCO, 2011), los dos conglomerados humanos más importantes de la región, con 324.207 y 161.490 habitantes respectivamente (DANE, 2005).

Esto se asocia con el panorama de la contaminación hídrica en el Pacífico Sudeste, dominado por la descarga de 1'359.641x10³ m³/año de desechos líquidos con una carga contaminante de 1'761.944 t/año de DBO₅ y de 818.872 t/año de DQO; igualmente, ingresan 414.934 t/año de sólidos suspendidos (SS), 55.266 t/año de nitrógeno y 6.654 t/año de fósforo (Escobar, 2002). Cifras en las que el río Mira, que desemboca al sur del departamento de Nariño, en la frontera con la república del Ecuador, tiene una gran participación pues su caudal promedio es de 871 m³/s.

1.1.1 BAHÍA DE BUENAVENTURA

Situada al occidente de Colombia en el departamento del Valle del Cauca, sobre la llanura del Pacífico; su posición geográfica es 03°57'08" N y 77°00'51" W, tiene una profundidad media de 10 m, recibe aguas de los ríos Dagua y Anchicayá cuyos caudales han sido referenciados en 66 y 98 m³/s, respectivamente (Otero, 2004). En la Bahía se ubican las poblaciones de Cascajal, La Bocana y Pianguita, las cuales concentran la mayor parte de la población costera. En la isla Cascajal se localiza la parte comercial y administrativa de Buenaventura.

En la zona la precipitación media anual fluctúa entre 6.821 mm y 7.673,6 mm (Estación de Colpuertos y Aeropuerto Buenaventura, período 1981-2001 (Posada *et al.*, 2009).

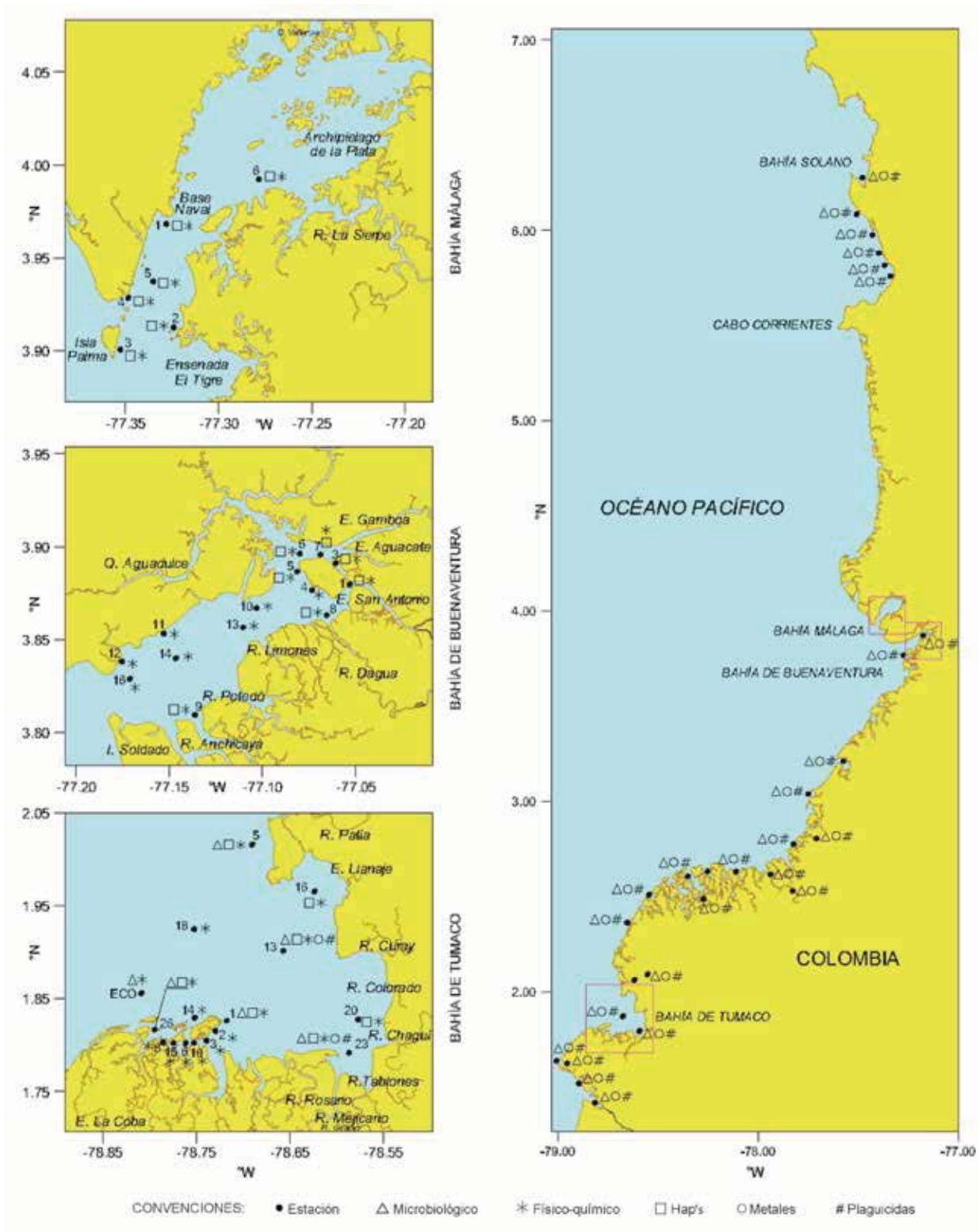


Figura 1.1 Estaciones de muestreo en las principales bahías del Pacífico colombiano.

Nota: La numeración de las estaciones de monitoreo no corresponde a una secuencia numérica, debido a que son parte de una red de estaciones evaluadas en estudios anteriores al período 2005-2010.

Buenaventura ha tenido durante décadas un papel protagónico en la economía nacional; su actividad central gira en torno al puerto, el transporte, el comercio, los recursos forestales y la aduana. Tiene sectores industriales relacionados con la pesca, la transformación de la madera y la manufactura. Así, se perfila como uno de los puertos importantes del país dado que moviliza cerca del 55 % de la carga nacional. Pese a estas características, y a formar parte del Valle del Cauca, una de las regiones más prósperas del país junto con Bogotá y Antioquia, Buenaventura es uno de los municipios más pobres de Colombia (Rojas *et al.*, 2008).

Aunque es el puerto más importante de la Nación, el 80,6 % de sus cerca de 400.000 pobladores vive en condiciones de pobreza. De hecho, existen cerca de 20.000 viviendas palafíticas, en donde el promedio de habitantes por vivienda es de alrededor de 5 (Rojas *et al.*, 2008).

1.1.2 BAHÍA DE TUMACO

Ubicada en el suroccidente colombiano, departamento de Nariño, delimitada por latitudes 1°45'00" y 2°00'00" N y longitudes 78°30'00" y 78°45'00" W; el borde costero comprende el municipio de Tumaco y parte del municipio de Francisco Pizarro, en los cuales se destacan las poblaciones de Salahonda, cabo Manglares y las islas de El Morro, Tumaco y La Viciosa. El régimen de lluvias es moderado y presenta una precipitación promedio anual de 2.647,1 mm (Garay *et al.*, 2006). Los habitantes de Tumaco basan su economía en labores extractivas como la minería y la pesca, además de la agricultura, la ganadería, el comercio y las actividades portuarias. En el sector agrícola se destacan el cultivo monoextensivo de palma africana (*Elaeis guineensis*), cacao, plátano y coco. El ecosistema estuarino de la Bahía recibe aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento de la población de Tumaco; allí también desembocan los ríos Curay, Chagüí, Colorado, Tablones, Mejicano, Rosario, Mira y Patía, afluentes que aportan residuos y una gran cantidad de material en suspensión que alteran la calidad del agua y los ecosistemas asociados.

1.1.3 BAHÍA DE MÁLAGA

Ubicada al norte de Buenaventura, entre los 3°56' – 4°05' N y los 77°19' – 77°21' W (Figura 1.1). Comprende la zona central de la costa Pacífica colombiana en donde la plataforma continental se extiende un poco más de lo normal en esta región. La profundidad promedio es de 12 a 15 m y tiene un área aproximada de 126 km². La circunda una población estimada de 3.500 habitantes afro-descendientes asentada en las comunidades de Juanchaco, Ladrilleros, La Plata y La Barra. Las características oceanográficas y climatológicas de bahía Málaga permiten reconocerla como una zona típicamente estuarina del Pacífico colombiano. Los principales hábitats que se encuentran en la Bahía son playas arenosas, rocosas y fangosas, además de acantilados y extensos bosques de manglar (Cantera *et al.*, 1999). La diversidad de esos paisajes contribuye a la presencia de distintos grupos biológicos.

Málaga es reconocida mundialmente por ser uno de los principales destinos de la migración estacional de ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*), especie que arriba a sus aguas con fines reproductivos.

La bahía de Málaga fue formada por lagunas de erosión con amplias depresiones de erosiones fluviales al bajar el nivel del mar durante la última glaciación e inundadas por transgresiones durante el holoceno y modificados posteriormente por procesos secundarios de bioerosión (Báez *et al.*, 1993).

1.2 CONTAMINACIÓN DEL MEDIO MARINO

La contaminación marina hace referencia a cualquier cambio en la calidad natural del medio, causada por factores químicos, físicos y biológicos, asociados a actividades agropecuarias, domésticas, extractivas e industriales que, por lo general, tienen como subproductos residuos que demandan oxígeno, agentes patógenos, nutrientes, petróleo, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas y sedimentos, entre otros, que se descargan directamente a los cuerpos de agua causando diferentes perturbaciones a las comunidades y ecosistemas asociados.

Sobre el particular, el Gesamp da la siguiente definición: “Contaminación marina significa la introducción por el hombre, directa o indirectamente, en el medio marino (incluyendo estuarios) de sustancias o de energía que provocan efectos nocivos que dañan a los seres vivos, ponen en peligro la salud humana, dificultan las actividades marinas, incluida la pesca, perjudican la utilización del agua del mar y reducen su disfrute” (Gesamp, 1991).

En el Pacífico colombiano la problemática asociada a la contaminación marina se manifiesta por lo general en las desembocaduras de los ríos, bahías y zonas costeras aledañas a los asentamientos humanos con consecuencias negativas, no solo sobre el componente ambiental (modificación y destrucción

del hábitat, pérdida de biodiversidad, eutrofización y alteraciones en los equilibrios biogeoquímicos) sino también, y de forma directa, sobre los aspectos socioeconómicos de la región (Figura 1.2).

En el ambiente marino, los contaminantes pueden estar en la columna de agua en disolución o adsorbidos a partículas sólidas. Muchos contaminantes que ingresan en el medio marino tienen una baja solubilidad en agua y una alta afinidad por partículas pudiendo, de esta forma, sedimentarse. Los sedimentos pueden actuar como portadores de contaminantes adsorbidos, y estos a su vez liberarse a la columna de agua por cambios en ciertos parámetros tales como pH, temperatura, potencial redox y salinidad, entre otros.



Figura 1.2 Esquema conceptual general acerca de la contaminación marina para el Pacífico colombiano

En el Pacífico colombiano, un tipo de contaminación marina que genera alta sensibilidad y riesgo es el relacionado con el petróleo, el cual puede afectar el agua, los sedimentos y los organismos. Los efectos causados por este tipo de contaminación se relacionan con la reducción o destrucción de la vida marina, disminución parcial o total de la fauna y de la flora en las playas y zonas costeras. Los efectos tóxicos del petróleo son de difícil evaluación, debido a su amplia gama de compuestos químicos. Su presencia en el ambiente marino se asocia principalmente con: derrames en operaciones de manejo (cargue, descargue y transporte) del petróleo y sus derivados, fuentes terrestres a través de ríos, actividades domésticas e industriales. Afortunadamente, en los últimos siete años no ha ocurrido contaminación significativa por derrames de petróleo.

Otro de los problemas de contaminación que afrontan los ecosistemas estuarinos del Pacífico colombiano es el generado por las descargas de sustancias contaminantes provenientes de fuentes terrestres.

La materia orgánica que ingresa a los ecosistemas marinos del Pacífico colombiano está asociada a los aportes continentales, corrientes oceánicas, excreciones y muerte de algas y organismos marinos, materia que inicialmente se suspende en las capas superficiales y posteriormente se hunde por acción de la gravedad hasta las profundidades, en donde por acción de las bacterias y de la actividad química se descompone, liberando nutrientes que pueden reincorporarse a la productividad primaria.

Entre las matrices ambientales, el agua de buena calidad es de gran significancia para el adecuado desarrollo de la vida; la calidad de la misma es determinada por la cantidad de solutos y gases disueltos, como también del material suspendido y flotante. En sí, es una consecuencia de su naturaleza física, química y microbiológica, como también de cualquier alteración que pueda haber ocurrido a causa de la actividad humana. La dificultad en la conservación y manejo de la calidad del agua reside en la gran cantidad de fuentes de contaminación, principalmente proveniente de la zona continental; y de la complejidad de vincular la calidad del agua con los procesos de producción y consumo de materia y/o energía en los ecosistemas.

1.3 ALGUNAS FUENTES Y MEDIOS DE ENTRADA DE CONTAMINANTES AL AMBIENTE MARINO COSTERO DEL PACÍFICO COLOMBIANO

El océano es muy grande y posee un enorme poder de dilución y asimilación; sin embargo, los ecosistemas acuáticos costeros, próximos a las fuentes donde se origina la contaminación, y con mucha menor superficie y volumen que el océano, se pueden ver seriamente afectados por las actividades humanas.

1.3.1 CONTAMINACIÓN DE ORIGEN TERRESTRE

En la costa Pacífica colombiana la mayoría de materiales y sustancias contaminantes que llegan al mar principalmente se originan en tierra, en donde se tienen por ejemplo: el escurrimiento de agroquímicos utilizados en las explotaciones agrarias, principalmente en el monocultivo extensivo de palma africana (*Elaeis guineensis*) y en los cultivos de tubérculos y hortalizas en los altiplanos nariñenses, las explotaciones mineras en las cuencas, las aguas residuales domésticas e industriales, los residuos sólidos de las poblaciones que se extienden a lo largo y ancho del borde costero como también en las cuencas hidrográficas asociadas. Así mismo, las actividades de extracción de material de arrastre en los ríos, la erosión, los derrames del oleoducto Transandino durante los atentados terroristas en puntos adyacentes a cuencas hídricas y los subproductos procedentes de la industria maderera.

1.3.1.1 Aguas Residuales

Pueden afectar el balance natural que existe en los ecosistemas acuáticos en una variedad de formas: cambios en el pH, concentración de algunas sustancias orgánicas e inorgánicas que pueden ser tóxicas para formas de vida específicas, excesivas cantidades de material orgánico que pueden ocasionar rápido crecimiento bacterial y agotamiento del oxígeno disuelto.

Las viviendas ubicadas en zonas de bajamar en Tumaco alcanzan un número aproximado de 12.533 (CP2, 2011), están habitadas en promedio por familias de cinco personas y desde las mismas se vierten directamente las Aguas Residuales Domésticas (ARD) al mar. Estimando que se generan 150 L/persona x día de ARD, se pueden calcular las cargas

anuales de los diferentes parámetros que las caracterizan (Tabla 1.1), y de acuerdo con la composición típica descrita por Metcalf & Eddy (1995) las ARD que se vierten en la zona son de tipo media.

Para agua estuarina no contaminada se ha establecido un valor de 2 mg/L de DBO5 (Kiely, 1999); teniendo en cuenta que los vertidos de las ARD a la Bahía ascienden a $9,4 \times 10^6$ L/día, con una DBO5 de 200 mg/L, se estima que para su estabilización, sin superar el valor referenciado, se requiere del 0,17% del volumen del prisma mareal semidiurno que llega a la Bahía, caracterizado con una altura media de 3,5 m, un área de 350 m² y una DBO5 de 1,11 mg/L.

Tabla 1.1 Descargas directas de aguas residuales domésticas a la bahía de Tumaco desde viviendas palafíticas (Metcalf & Eddy, 1995).

| Parámetro | t/año |
|---------------------------|----------------------|
| Sólidos disueltos totales | 1.715 |
| Sólidos en suspensión | 755 |
| DBO5 | 686 |
| COT | 549 |
| DQO | 1.715 |
| Nitrógeno total | 137 |
| Fósforo total | 27 |
| Cloruros | 172 |
| Sulfato | 103 |
| Aceites y grasas | 343 |
| Coliformes (NMP) | $1,4 \times 10^{17}$ |

Fuente. Presente documento.

La disposición de las ARD de las viviendas asentadas en terrenos consolidados, se realizan generalmente a través de pozos de infiltración contaminando las aguas subterráneas.

Con relación a la bahía de Buenaventura, se estimaron las cargas anuales que se vierten directamente desde las viviendas palafíticas de forma similar como se determinó para la bahía de Tumaco (Figura 1.3). Teniendo en cuenta las 20.000 viviendas palafíticas ubicadas en zonas de bajamar (Rojas *et al.*, 2008), las cargas anuales que se vierten directamente desde las viviendas palafíticas a la bahía de Buenaventura son las presentadas en la tabla 1.2, siendo equivalentes a 1,6 veces las cargas calculadas para la bahía de Tumaco.



Figura 1.3 Viviendas palafíticas, fuentes de contaminación directa del medio marino costero.

Tabla 1.2 Descargas directas de aguas residuales domésticas a la bahía de Buenaventura desde viviendas palafíticas (Metcalf & Eddy, 1995).

| Parámetro | t/año |
|---------------------------|-----------------------|
| Sólidos disueltos totales | 2.738 |
| Sólidos en suspensión | 1.205 |
| DBO5 | 1.095 |
| COT | 549 |
| DQO | 2.738 |
| Nitrógeno total | 219 |
| Fósforo total | 44 |
| Cloruros | 274 |
| Sulfato | 164 |
| Aceites y grasas | 548 |
| Coliformes (NMP) | $2,25 \times 10^{17}$ |

Fuente: Presente documento

1.3.1.2 Residuos Sólidos

Desde hace varias décadas se vienen realizando esfuerzos para detener la ola de basura a través de acuerdos internacionales. Estos incluyen la Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación por los Buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (Marpol 73/78) (OMI, 2006). Desde 1988, el anexo V de la Convención ha especificado qué tipo de residuos deben ser recogidos a bordo y no pueden ser descargados en el mar. Por ejemplo, en virtud de la disposición del Convenio Marpol, el vertimiento de restos de comida en el mar está prohibido si la distancia desde la tierra más próxima está a menos de 12 millas náuticas.



Figura 1.4 Campañas de limpieza. a) Materiales extraídos de bajamar y b) Campaña subacuática.
Fuente: Corponariño, Centro Ambiental Costa Pacífica, 2011.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Pnuma) promueve una intensa campaña de publicidad en un esfuerzo por aumentar la conciencia ante esta situación crítica, con alta relevancia en una gestión eficaz para los residuos, y sensibilizar a la población sobre el problema de los desechos marinos globales.

Es difícil llegar a una cuantificación exacta de la cantidad de residuos sólidos que llegan a los ecosistemas acuáticos costeros del Pacífico colombiano, debido a las diversas fuentes difusas y puntuales a lo largo de la costa. La mayoría proviene de fuentes terrestres. Algunos son generados por visitantes y turistas que dejan basura en las playas. También se incluyen los residuos procedentes de buques comerciales, de recreación y artefactos navales que vierten deliberadamente, en donde merece atención los materiales de plástico, el cual se degrada muy lentamente en el medio y puede persistir durante décadas, incluso siglos. También proceden de lugares remotos, debido a que son arrastrados por las corrientes oceánicas.

La bahía de Tumaco no está exenta a los hechos mencionados anteriormente; permanentemente se aprecian manchas de residuos flotando que se generan en las viviendas palafíticas ubicadas en la isla Tumaco, y cuyo destino principal son las playas y orillas circundantes, lo que indica que la concientización de los actores sobre el mar y sus recursos es parcial. Para contrarrestar estas acciones, las entidades locales esporádicamente realizan campañas de remoción de dichos materiales desde sectores de bajamar y subacuáticos, extrayendo volúmenes considerables de desechos (Figura 1.4).

Con base a la población asentada en la isla Tumaco y El Morro (84.668 habitantes en el casco urbano), con una producción de desechos de 0,75 kg/habitante/día, se estima una generación de 63,5 t/día de basura. Según la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Tumaco (Aquaseo), mensualmente se recolectan 2.100 t de desperdicios (unas 70 t/día), o su equivalente a 0,77 kg/habitante/día, relación bastante aproximada con la estimación teórica. Unas 100 t/mes de este gran total son recolectados en sectores palafíticos, evitando así ser depositados en el mar.

Lo anterior permite inferir que aparentemente los habitantes estarían haciendo un buen uso del servicio de recolección, y acorde con la carga de generación establecida en la literatura para este tipo de región, la cual contempla una producción entre 0,3 y 0,8 kg/habitante/día, esta se incrementa de un 25 % a un 50 % cuando se incluyen residuos de plazas de mercado, barridos y comercio, entre otros; o sea que la generación bruta está entre 0,5 a 1,2 kg/habitante/día (OPS, 1995), situación que se presenta en Tumaco.

A pesar de las continuas campañas de concientización y a la recolección permanente de residuos sólidos en playas y zonas de bajamar por parte de Aquaseo, se evidencia una falta de concientización ambiental entre la población que sigue arrojando residuos a zonas de bajamar y al océano directamente, ignorando el servicio brindado por la empresa de aseo (Figura 1.5). En esa falta de conciencia está implicada, principalmente, la población que carece de algún nivel de escolarización. En este aspecto, hay que anotar que la población residente en Tumaco sin ningún nivel educativo es del 18,1 %. (DANE, 2005).



Figura 1.5 Limpieza permanente en playas de la bahía de Tumaco.

La problemática relacionada con la descarga de residuos sólidos a los cuerpos de agua es común en los asentamientos humanos a lo largo de la costa Pacífica colombiana. Se hace necesario, pues, que los gobiernos locales y las Corporaciones Autónomas Regionales formulen e implementen programas de educación ambiental con el fin de cambiar la actitud frente a la gestión de los residuos sólidos y así poder convivir en armonía con la naturaleza.

Para el manejo de los residuos sólidos, el municipio de Buenaventura cuenta con un botadero a cielo abierto, entregado a la empresa Buenaventura y Medio Ambiente, (BMA) S.A. E.S.P., operador del servicio de aseo (recolección, barrido, transporte y disposición final), compañía que realizó las obras necesarias para convertirlo en un botadero controlado; es decir, con captación de gases, compactación y cobertura diaria de los residuos, así como manejo de aguas lluvias (mediante canales perimetrales en concreto), situación que ha generado conflictos ambientales por contaminación de aguas superficiales y subterráneas y del aire (por malos olores), como deterioro del paisaje.

En la actualidad, el operador se encuentra gestionando las respectivas licencias para la construcción de un relleno sanitario en el cual pueda disponer sus residuos sólidos adecuadamente. El botadero controlado recibe un total de 150 t/día, carga de la cual se recuperan aproximadamente 30 t/día por parte de 80 recicladores que trabajan en el frente de descarga (Conpes, 2006). Según información de BMA S.A. E.S.P, en el 2011 se manejaron 175 t/día, 5.300 t/mes.

En Buenaventura, la problemática derivada de los residuos sólidos depositados a orillas y debajo de las viviendas que se encuentran ubicadas en áreas de bajamar en los ecosistemas acuáticos es similar a la presentada en

Tumaco y al resto de poblaciones costeras colombianas, en donde se percibe una falta de sensibilización ambiental de los pobladores.

En Bahía Solano, en la cabecera municipal de Ciudad Mutis, se carece de una adecuada gestión de residuos sólidos. Estos son recolectados y transportados hacia un botadero a cielo abierto en donde frecuentemente se queman, lo cual se traduce en la generación de partículas y emisión de gases hacia la atmósfera.

A continuación se presentan algunos efectos del manejo inadecuado de los residuos sólidos en la población y la biota.

La población

Anteriormente los desechos marinos no eran tan preocupantes. Ciertas acciones intentaban abordar el problema de forma intermitente a través de limpieza de escombros en las playas. Sin embargo, actualmente la cantidad de basura ha aumentado y así mismo los problemas. Los principales impactos son:

- Riesgos para la salud humana, incluida la amenaza de lesiones causadas por vidrios, restos metálicos y jeringas, entre otros.
- Alto costo de limpieza de escombros varados en las playas, estuarios y puertos, junto con los gastos de operación de las instalaciones para su correcta gestión.
- Rechazo de los turistas, traduciéndose en pérdidas de ingresos procedentes del turismo y de la pesca.

La biota

- Las aves marinas pueden recoger fragmentos de plástico de la superficie del mar lo que en ocasiones puede causarles la muerte; o pueden llevarlos a sus polluelos como alimento provocándoles la muerte.
- Los organismos al entrelazarse en redes o hilos de pesca pueden sufrir deformaciones, limitaciones en sus movimientos y normal desarrollo; y, en caso extremo, pueden convertirse en una trampa mortal.
- Las tortugas y mamíferos confunden los plásticos con alimento, causándoles en muchas ocasiones la muerte por asfixia.
- Convertirse en medio de propagación de especies invasoras.

1.3.1.3 Erosión

Las prácticas agrícolas y forestales incluida la deforestación asociada a los cultivos de coca (*Erythroxylum coca*), que para el año 2010 tenía destinadas en el Pacífico colombiano aproximadamente 23.620 ha (UNOD, 2010), constituye una actividad que favorece considerablemente la movilización de los suelos hacia las zonas costeras. Cuanto más intensivas son las prácticas agrícolas, especialmente en aquellos terrenos que tienen pendientes más o menos pronunciadas, más se incrementa la erosión y con ella la deposición de sedimentos terrestres en las aguas costeras por procesos de escorrentías. Un exceso de sedimentos en estos ecosistemas se refleja en un incremento de la turbidez, que puede inhibir o limitar la fotosíntesis; así mismo, acelera la morfodinámica costera.

1.3.1.4 Minería

La mayor pérdida y deterioro del suelo (tierras fértiles) se presenta en aquellas regiones de extracción aluvial (Chocó y Nariño), en todas las regiones en que se hace extracción aurífera existe contaminación por derrames y pérdida de mercurio, tanto en el suelo como en las aguas y la atmósfera. Solamente en las regiones mineras donde se explota mineral de veta, existe contaminación por uso de cianuro en el beneficio. Como consecuencia de los inadecuados sistemas de explotación de la pequeña y mediana minería, grandes extensiones de suelo, antes dedicadas a usos agropecuarios o que contaban con zonas boscosas, en la actualidad se han convertido en zonas completamente estériles. Al mismo tiempo, los ecosistemas hídricos se han visto afectados por los residuos que se generan con el lavado intensivo de aluviones, pues los efluentes y las colas de los procesos utilizados no son dispuestos en lugares apropiados, sino que son descargados directamente, sin un tratamiento de descontaminación, a las quebradas y riachuelos (UPME, 2006).

El departamento de Nariño se localiza al sur occidente de Colombia, con explotaciones de oro tanto aluvial como de veta; las de tipo aluvial se localizan en la Región Pacífica, asociadas a los ríos Patía, Iscuandé, Mira y Telembí (UPME, 2006).

De otro lado, las aguas residuales del proceso de beneficio contienen sólidos en suspensión (lodos, arenas, sulfuros), sales disueltas, mercurio y cianuro, las cuales son vertidas directamente y sin tratamiento alguno

a las corrientes de agua, aumentando así el volumen de sedimentos (sólidos suspendidos y partículas de arrastre) (UPME, 2006). Finalmente, estos residuos metálicos llegan a las costas generando problemas de bioacumulación y biomagnificación.

En este aspecto cabe mencionar una iniciativa de proyecto minero sostenible para Nariño, en el marco del programa Minero Ambiental de Corponariño, que ha tenido repercusión nacional e internacional, diseñado y puesto en marcha a comienzos de los años 90, dentro de la estrategia del Centro Ambiental Minero. Este plan es considerado por la UPME del Ministerio de Minas y Energía como el mejor instrumento de gestión minero ambiental existente en Colombia. La estrategia comprende fundamentalmente, el desarrollo de procesos de investigación aplicada, transferencia de tecnología, mejoramiento de infraestructura minera, asesoría técnica y capacitación. Está dirigido a las comunidades de pequeños mineros del oro de Nariño, tanto de la zona Andina como de la costa Pacífica. Este programa fue replicado con éxito por CRC, CVC y Corpoamazonia en los departamentos de Cauca, Valle del Cauca y Putumayo respectivamente.

Con este programa se supera el paradigma de que la minería es uno de los sectores productivos más contaminantes y que por lo tanto riñe con la calidad del medio ambiente y la conservación de la biodiversidad (Pantoja-Timarán, 2008). Por lo tanto, anterior a esta iniciativa y fundamentados en que los principios en las etapas involucradas en los procesos extractivos del oro son idénticos, se infiere que el contenido de mercurio en los efluentes líquidos de la actividad minera en el Pacífico colombiano, podrían haberse encontrado en el mismo intervalo de 552 ppm a 6.118 ppm y en los sólidos entre 1.065 ppm y 5.015 ppm, encontrados en el departamento de Antioquia y referenciados en el Convenio Corantioquia - Cimex (UPME, 2006).

1.3.1.5 Industria de Aserríos

La silvicultura en la región Pacífica sobresale por tener uno de los ecosistemas forestales de mayor importancia nacional. Mediante la Ley 2 de 1959, la región fue declarada como Zona de Reserva Forestal, sobre una superficie de 11'155.214 ha. Sin embargo, se estima que cerca del 70 % de la madera aserrada y de la materia prima para la industria de papel que se consume en el país proviene de dicha región. En la región existen unos 800 aserraderos manuales y 1.560 mecanizados,

y alrededor de 120 mil personas dependen directa o indirectamente de la actividad maderera (Espinosa, 2010). Esta se constituye en una actividad que favorece la erosión, genera disminución de hábitats y pérdida de biodiversidad

Actualmente, se carece de un inventario de los volúmenes de aserrín que se encuentran depositados y distribuidos a lo largo de la costa Pacífica colombiana. En este aspecto, algunos que se encuentran localizados en espacios de interacción con el mar (Figura 1.6) generan problemas tales como: olores nauseabundos por la generación de ácido sulfhídrico; ácidos grasos volátiles y compuestos sulfurados; alto consumo de oxígeno para la oxidación de la materia orgánica, convirtiendo el área de incidencia en un ambiente anóxico; liberación de pigmentos y taninos que se solubilizan en el agua y le imparten cierta coloración, produciendo disminución de transmisión de la luz solar e interfiriendo el proceso de fotosíntesis; pérdida en la capacidad hidráulica de los espacios adyacentes por la colmatación de los sedimentos; sepultación de los organismos bentónicos; y muerte por asfixia de peces al producir atascamiento en las branquias. También los espacios adyacentes se utilizan para colocar las trozas de madera, las cuales obstaculizan el tráfico marítimo y pueden generar accidentes. Esta situación se presenta en los aserríos de El Pindo, en Tumaco, por lo cual se recomienda implementar mecanismos orientados a la reubicación de tales infraestructuras, con el fin de minimizar y/o eliminar los problemas mencionados.



Figura 1.6 Disposición de aserrín en El Pindo, Tumaco.

1.3.1.6 Ríos

A través de los ríos llegan cantidades significativas de materiales y sustancias alóctonas, las cuales pueden ocasionar efectos tóxicos a los organismos y un desequilibrio en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas costeros asociados, afectando

la salud humana. Así mismo, pueden acelerar la dinámica costera como consecuencia del aporte de sedimentos asociados a la erosión de las cuencas, hecho desencadenado de una combinación del mal manejo y de fenómenos naturales. A continuación se presentan estimaciones para algunos ríos del Pacífico colombiano en este aspecto (Tabla 1.3).

Tabla 1.3 Cargas de sólidos aportadas al Pacífico colombiano a través de algunos ríos.

| Río | [Carga (t/año)] * x 10 ⁵ |
|-----------|-------------------------------------|
| Patía | 9,044 |
| Mejicano | 0,733 |
| Rosario | 3,1044 |
| Tablones | 0,205 |
| Colorado | 0,290 |
| Dagua | 1,28 ** |
| Anchicayá | 2,16** |
| San Juan | 160 |
| Mira | 29,3745 |

Fuente: Tomado y modificado de *Garay-Tinoco *et al.*, 2006; ** m³/año, Posada *et al.*, 2009

1.3.1.7 Industria Pesquera

En pesca marítima, el país cuenta con una Zona Económica Exclusiva (ZEE) sobre los dos océanos de 988.000 km², con una plataforma continental que abarca 77.750 km² incluida el área insular, de los cuales el 42 % corresponde al océano Pacífico y el resto al mar Caribe. En el Pacífico se han identificado cerca de 300 especies, de las cuales un 25 % es susceptible de explotación. En la última década, el promedio anual de la producción pesquera y acuícola en Colombia ascendió a 160.578 t, de las cuales el 55 % correspondió a capturas de pesca industrial, un 24 % a la pesca artesanal y el 21 % restante a la acuicultura. El 50 % de la producción total promedio provino de la pesca de atún en el Pacífico, que representó a su vez el 85 % de la producción marítima total del país. Vale la pena destacar el bajo aprovechamiento que se hace del total de pesca de captura ya que el 98 % corresponde a captura incidental y de ésta tan sólo el 22 % se aprovecha, el 76 % restante se devuelve al mar (DNP, 2007). Esta captura que se devuelve se constituye en un material que genera alteraciones en la calidad físico-química del medio acuático, entre las que se puede resaltar la disminución de los niveles de oxígeno disuelto debido al consumo requerido para la oxidabilidad de la materia orgánica.

En la agroindustria pesquera de Buenaventura, la generación de residuos tiene una razón estimada de 53,83, 12,1 y 28,34 % para los procesos de fileteado, pescado fresco y beneficio de camarón, respectivamente; genera alrededor de 2.400 t/año de residuos, con potencial de aprovechamiento debido a su alto contenido de proteínas, minerales y carbohidratos. La no utilización de estos residuos constituye una problemática ambiental y social. En cuanto a los residuos líquidos, la agroindustria pesquera vierte más de 93.000 m³/año directamente al mar, en donde la ausencia de una planta de tratamiento de aguas residuales y un adecuado sistema de bombeo generan problemas ambientales en la costa (Rodríguez *et al.*, 2010). En Tumaco se carece de una información sólida al respecto.

1.3.1.8 Turismo

El Pacífico colombiano ofrece un extraordinario potencial para el desarrollo del turismo, representado en su gran diversidad geográfica, bioecológica, étnica y cultural, riquezas que permiten una oferta variada de productos como: turismo de playa, ecoturismo, turismo cultural, deportes y gastronomía, entre otros. Sin embargo, el Pacífico no ha logrado consolidarse como un destino turístico importante en el ámbito nacional como el Caribe colombiano.

Cabe resaltar que la preservación y aprovechamiento racional de las zonas aptas para desarrollar el ecoturismo, se constituyen en los pilares que sustentarán el crecimiento y desarrollo de la región. Por su parte, para lograr la preservación y utilización racional de éstas áreas naturales con gran potencial ecoturístico, se necesita la implementación de un programa agresivo de educación ambiental no formal dirigido a los diversos actores de la región, cuya finalidad sea la de sensibilizar y concientizar a la población acerca de la importancia de realizar la conservación, manejo y aprovechamiento racional de los recursos naturales. Uno de los factores que más afecta estos sitios naturales, lo constituye el manejo inadecuado de los residuos sólidos, con la consecuente contaminación y deterioro ambiental. En el caso específico de las playas del sector turístico de El Morro, en Tumaco, se presenta una continua contaminación por basuras provenientes de los residuos dejados por turistas, bañistas y vendedores ambulantes. Esta situación se presenta mayormente durante el desarrollo de las actividades de recreación masiva (Figura 1.7).

En Tumaco se carece de una estadística que refleje el número de turistas que visitan la región, y por ende no se puede contar con un dato sólido que permita evidenciar y/o promover esta actividad como una fuente de ingresos.

1.3.2 CONTAMINACIÓN DE ORIGEN MARÍTIMO Y/O PORTUARIO

Las actividades marinas como el transporte y la pesca vierten materiales y/o desechos en el mar. Asimismo, se tiene la entrada de sustancias oleosas asociadas al transporte marítimo (buques pesqueros, pequeñas motonaves dedicadas al transporte de mercancías y lanchas), el agua de lastre y las pinturas anti-incrustantes que se desprenden de los artefactos navales.

El manejo de petróleo y derivados constituye una amenaza potencial para el medio marino, los cuales en ciertas ocasiones han impactado determinados lugares del Pacífico colombiano.

Las actividades de dragado que se realizan con cierta periodicidad en los canales de acceso hacia los puertos de Tumaco y Buenaventura, en donde se remueven varios millones de metros cúbicos de sedimentos, alteran la concentración de sólidos suspendidos y la transparencia del agua, entre otros parámetros; así mismo, la hidrodinámica y morfología de los espacios adyacentes a dichas obras.

Por otra parte, también se presenta el problema de la transferencia de organismos nocivos a través del agua de lastre de los buques de tráfico internacional. Este inconveniente es de mayor riesgo en Tumaco que en Buenaventura, puesto que la actividad principal de Tumaco se relaciona con el cargue de crudo en buques tanque que arriban específicamente con esta finalidad a la Terminal Multiboyas de Ecopetrol; esto debido a que, para su estabilidad en la navegación, dichas infraestructuras necesitan transportar agua de lastre, la cual es vertida al medio marino, previo a las operaciones de cargue (Figura 1.8).



Figura 1.7 Las playas de El Morro, en Tumaco, durante actividades masivas de recreación.



Figura 1.8 Buque en la terminal de Multiboyas de Tumaco después de haber deslastrado.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE FÍSICO



En este capítulo se contempla una descripción general de la geomorfología, hidrología y algunos aspectos biofísicos de la costa Pacífica colombiana.

Citar este capítulo como:

Casanova, R y M. Zambrano. 2012. Descripción del componente físico. Pp. 37-62. En: DIMAR-CCCP. 2012. Panorama de la contaminación marina del Pacífico colombiano 2005-2010. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. Serie Publicaciones Especiales Vol. 7, San Andrés de Tumaco, Colombia. 158 pp.

2.1 GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA

La costa Pacífica colombiana es fisiográfica y morfológicamente diversa; al respecto se presentan sectores con rocas cohesivas, no cohesivas, playas, islas barrera, costas lodosas, sistemas deltaicos, urbanizadas y bocanas. Las rocas cohesivas tienen una mayor resistencia a los procesos de meteorización y erosión y se presentan en la zona costera del departamento del Chocó, hacia el oeste de la vertiente del río Baudó. La morfología de la franja litoral se caracteriza por salientes rocosos y acantilados activos con pendientes fuertes a escarpadas, y alturas de hasta 50 m. Las rocas no cohesivas son poco resistentes al embate de las olas en la base de los acantilados y se caracterizan por ser frágiles, poco consolidadas, altamente deleznable y afectadas por fracturas (Posada *et al.*, 2009). Corresponden a un paisaje de colinas bajas y terrazas, originadas por la incisión profunda del drenaje sobre los materiales que conformaban la llanura costera antes del levantamiento de la cordillera occidental. Los materiales que la componen reflejan los abundantes aportes de la cordillera a la franja costera y la importancia de la tectónica en la evolución morfológica de la zona (Robertson, 1997).

La morfología costera a lo largo del litoral es variada y contrastante. En líneas generales se distinguen dos regiones cuyo límite se encuentra en Cabo Corrientes. Hacia el norte, la costa es predominantemente montañosa y las estribaciones de la serranías del Baudó y de Los Saltos se precipitan sobre el mar formando acantilados rocosos, interrumpidos por ensenadas y bahías con playas arenosas; al sur, el paisaje costero predominante es de amplias llanuras aluviales y formaciones deltaicas (Otero *et al.*, 2007)

Los grandes deltas o estuarios de la costa del Pacífico colombiano constituyen una respuesta a la sedimentación procedente de la cordillera occidental y al rango macro y mesomareal existente.

2.2 HIDROLOGÍA

La vertiente del Pacífico colombiano tiene una extensión de 76.852 km², que equivalen al 6,7 % del territorio continental del país y está conformada por más de 200 ríos que a pesar de ser de trayecto corto, en su mayoría son bastante caudalosos y transportan grandes cantidades de sedimentos; la descarga total de los ríos que drenan la

vertiente se estima superior a los 9.000 m³ de agua por segundo y 96 millones de toneladas de sedimentos por año. Los principales ríos que desembocan en las costas del Pacífico son San Juan, Patía, Baudó, Mira, Micay, Dagua, Anchicayá, Yurumanguí, Naya, Sanquianga, Guapi, Iscuandé y Mataje, cuyas desembocaduras se localizan todas en la zona meridional de la región. La mayoría ha desarrollado deltas que en casos como en el del San Juan son individuales, mientras que en otros, como el del Patía, son múltiples y en su desarrollo participan varios sistemas fluviales (Otero *et al.*, 2007). En la tabla 2.1 se relacionan algunas de las características de varios ríos.

2.2.1 SERRANÍA DEL BAUDÓ

Se extiende por cerca de 300 km desde los límites con Panamá hasta Cabo Corrientes. Está conformada por rocas volcánicas básicas. En su parte alta, se caracteriza por un tipo de relieve estructural, con colinas y lomas de alturas entre 200 y 400 m. Allí nacen ríos como el Juradó y el Partadó. En la vertiente occidental de la Serranía del Baudó el relieve alcanza alturas de 300 m, con laderas cortas, interrumpidas por valles y bahías estructurales como las de Cupica, Solano y Utría (Posada *et al.*, 2009).

2.2.2 DELTA DEL RÍO SAN JUAN

El delta del San Juan está en el extremo meridional del litoral del departamento del Chocó. La planicie deltaica tiene una extensión cercana a los 8.000 km² y está conformada por canales distributarios flanqueados por bosque húmedo tropical, pantanos de manglar, planos lodosos y cordones de playa. La configuración del delta es compleja, pues se trata de un sistema mixto en donde la influencia fluvial, la del oleaje y la de las mareas tienen la misma importancia. La deposición de los sedimentos transportados por el río es evidente en la zona estuarina aledaña a las bocas, donde el oleaje suspende parte del material y lo redistribuye a lo largo del litoral formando depósitos secuenciales que constituyen cordones de playa y barreras arenosas. La línea de costa del frente deltaico forma un arco suave de 51 km de longitud entre las desembocaduras de los tributarios Togoromá, al norte, y San Juan o Choncho, al sur. Aunque en algunos sectores aledaños a las bocas se acumulan sedimentos que forman islas barrera y espigas, la mayor parte de la costa es de carácter erosivo, por lo que tiende a retroceder.

Tabla 2.1 Algunas características de los principales ríos del Pacífico colombiano.

| Ubicación – Departamento | Río | Longitud (km) | Área Cuenca (km ²) | Caudal (m ³ /s) | Carga-Sedimentos (m ³ /año) |
|--------------------------|-------------------|---------------|--------------------------------|----------------------------|--|
| Valle del Cauca | Dagua | 101 | 1.639 | 66 | 1,28 X 10 ⁵ |
| | Anchicayá | 97 | 1.200 | 98 | 2,16 X 10 ⁵ |
| | Naya | 130 | 1.700 | 417 | -- |
| Cauca | San Juan de Micay | 235 | 2.511 | 606 | -- |
| | Timbiquí | | | 147 | -- |
| | Guapi | | | 357 | -- |
| Nariño | Patía | 400 | 23.700 | 1.290 | 9,044 X 10 ⁵ |
| | Mira | 360 | 4.800 | 871 | 29,3745 X 10 ⁵ |
| | Tapaje | | | 175 | -- |
| | Iscuandé | | | 213 | -- |
| Chocó | San Juan | 352 | 16.465 | 2.593 | 1,6 X 10 ⁷ |
| | Baudó | | 5.400 | 788 | |

Fuente: Modificado de Posada *et al.*, 2009

El río San Juan nace en el cerro de Caramanta, tiene un caudal promedio anual de 2.550 m³ de agua por segundo y 16 millones de toneladas de sedimentos por año. El San Juan es, no sólo el más caudaloso de los ríos de la vertiente Pacífica de Colombia, sino de todos los ríos que desembocan en el Pacífico suramericano. Su cuenca, separada en el norte de la del río Atrato por una cadena de montañas de escasa elevación, está ubicada entre la Cordillera Occidental y las colinas bajas del litoral Pacífico; tiene una superficie de 16.400 km² y recibe precipitaciones del orden de 7.000 a 9.000 mm/año, las más elevadas de toda América. El río tiene una longitud de 352 km y por la margen izquierda recibe las aguas de sus principales afluentes: Paimadó, Tamaná, Munguidó, Sipí, Currupí, Copomá y Calima (Otero *et al.*, 2007).

Como es característico en los deltas del Pacífico colombiano, el del San Juan presenta una amplia variedad de ambientes biológicos condicionados por la dinámica geomorfológica y el gradiente espacial agua dulce-salada y su intrusión en los suelos.

2.2.3 DELTA DEL PATÍA

El Patía es el río más largo de la vertiente Pacífica, no sólo de Colombia sino de toda Suramérica. Nace en las faldas del volcán Sotará, en el Macizo Colombiano, y su recorrido se extiende a lo largo de 400 km, de los cuales los últimos 90 son navegables. Fluye inicialmente en dirección sur, entre las cordilleras Central y Occidental

que atraviesa por la depresión de la Hoz de Minamá y desciende por la cordillera para adentrarse en la llanura del Pacífico, donde recibe su principal afluente, el río Telembí. (Posada *et al.*, 2009). Su cuenca de drenaje cubre aproximadamente 23.000 km² y vierte al Pacífico, con un caudal alrededor de 1.290 m³/s. El complejo deltaico tiene una extensión aproximada de 2.000 km² y abarca más de 120 Km de línea de costa desde la bahía de Guapi hasta Punta Cascajal, en el extremo noroccidental de la bahía de Tumaco (Cien, 2011).

Si bien el Patía es uno de los ríos más caudalosos de los que desembocan en esta área y por ello el delta recibe su nombre, otros ríos importantes son los ríos: Guapi, Iscuandé, Tapaje, Satinga y Sanquianga, entre otros, aunque de tramo más corto, vierten también grandes cantidades de agua y sedimentos en esta área, contribuyendo significativamente al desarrollo del complejo deltaico más extenso del país. Se trata en realidad de un delta múltiple formado por la fusión de varias planicies deltaicas de diferente edad; la parte norte del plano deltaico es la más antigua, en tanto que hacia el oriente se encuentran los sectores progresivamente más recientes.

En otras palabras, el delta en su conjunto ha experimentado una migración paulatina en sentido nororiental-suroccidente causada en parte por los movimientos de las placas tectónicas. El delta del Patía en su totalidad es una región afectada por subsidencia

cosísmica, es decir, que experimenta hundimientos debido a los movimientos sísmicos que ocurren con cierta frecuencia. Los manglares del plano deltaico del Patía son los más extensos del país, con alrededor de 100.000 ha, más de una tercera parte del total de los del Pacífico colombiano, que forman una amplia franja que bordea la costa y que en algunos sectores alcanza hasta 30 km de ancho, distancia hasta la cual se percibe la influencia de la marea alta, que represa el flujo del río hacia su desembocadura (Otero *et al.*, 2007).

2.2.4 DELTA DEL RÍO MIRA

El río Mira nace y hace la mayor parte de su recorrido en territorio ecuatoriano. Su curso tiene una longitud total de 360 km, 88 de los cuales corresponden a su trayecto final en territorio colombiano. Su cuenca hidrográfica cubre 24.000 km², de los cuales 4.800 km² son de Colombia; la mayor parte de la cuenca abarca regiones selváticas y poco pobladas. La planicie deltaica del Mira es un prisma de acreción relativamente antiguo —Plioceno-Pleistoceno— que abarca una extensión de 1.600 km², una tercera parte de los cuales corresponde aproximadamente al delta más reciente. Éste se encuentra delimitado al oriente por terrazas y colinas sedimentarias y al norte por la amplia llanura pantanosa que bordea el margen sur de la bahía de Tumaco.

Al parecer, durante el Holoceno, el delta reciente del Mira ha ido progradando progresivamente hacia el suroccidente desde la bahía de Tumaco. La parte norte de la costa del delta está expuesta a los embates del fuerte oleaje y se caracteriza por la presencia de islas barrera arenosas muy estrechas, las cuales están permanentemente sometidas a la erosión por el oleaje y antepuestas a los manglares. Las situadas más hacia el noroccidente, son lentas pero constantemente trasladadas en dicha dirección hacia el interior de la bahía de Tumaco por efecto de la corriente de deriva litoral, razón por la cual son terrenos muy inestables. La morfología costera revela que el delta está influenciado principalmente por la acción compartida del oleaje y los sedimentos del río. Detrás de la franja de manglares, como suele ser la regla en los deltas del Pacífico colombiano, se extienden los bosques de pantano natal, guandal, naidizal, según la especie arbórea dominante (Otero *et al.*, 2007).

2.3 ASPECTOS METEOROLÓGICOS

El litoral Pacífico colombiano está localizado en una zona húmeda tropical, caracterizada por temperaturas elevadas pero relativamente constantes (>24 °C), altas precipitaciones y gran humedad. La precipitación promedio varía entre 2.000 y 12.700 mm/año (Eslava,

1993). La humedad al nivel del mar alcanza un 88 % y decrece sólo en un 0,0035 % por cada 100 m de ascenso en la elevación. La distribución de la precipitación es bimodal. Las mayores precipitaciones se presentan entre septiembre y noviembre; la segunda estación de lluvias se presenta desde abril hasta junio. De acuerdo con la distribución de la precipitación, la temperatura y la topografía, la Cuenca Pacífica se divide en tres zonas: norte, central y sur. La zona norte, que incluye las cuencas de los ríos Atrato, Baudó y San Juan, recibe en promedio 5.600 mm de precipitación anual y presenta una temperatura promedio de 26,2 °C. La zona central, que incluye las cuencas de los ríos Dagua, Anchicayá, Cajambre, Raposo, Yurumanguí, San Juan de Micay, Iscuandé, Amarales, Satinga y Sanquianga, recibe cerca de 4.100 mm de precipitación anual y posee una temperatura media de 25,9 °C. La zona sur, conformada por las cuencas de los ríos Patía y Mira, presenta una precipitación promedio anual de 2.000 mm y una temperatura media de 26,4 °C (Restrepo, 2006).

La Cuenca Pacífica Colombina (CPC) se caracteriza por la presencia de vientos Alisios del Norte al principio y al final del año, y de vientos Alisios del Sudoeste durante el resto del año, mostrando el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la cual se desplaza hacia el sur durante el primer trimestre del año y hacia el norte durante el segundo semestre del mismo. Este desplazamiento de la ZCIT está asociado con una fuerte y frecuente pluviosidad debido a la alta actividad de convección en la atmósfera y a la condensación resultante, regulando el comportamiento de la interacción océano-atmósfera de la región (Rueda *et al.*, 2007).

Una particularidad muy importante de la circulación atmosférica en la CPC es la presencia de la ZCIT, donde se encuentran los Alisios del Norte y del Sur. Los Alisios del Suroeste por lo general cruzan el Ecuador y por eso su encuentro con los Alisios del Nororiente se realiza en el hemisferio norte, y la ZCIT se ubica más al norte del Ecuador. Durante el año, la ZCIT migra entre los 2° y 13° N; en septiembre toma la posición más norte y en marzo la posición más sur (Villegas *et al.*, 2006).

La climatología indica que el golfo de Panamá presenta un comportamiento estacional semestral. Durante el primer semestre predominan los vientos Alisios del Noroeste, con velocidades entre 5 a 7 m/s, y en el segundo semestre predominan los vientos Alisios del Suroeste con intensidades entre 4 y 5 m/s.

Las magnitudes semestrales del campo de vientos de la CPC indican en el primer semestre la influencia del chorro

de viento de Panamá entre enero y abril, ingresando a la CPC con vientos entre 5 a 9 m/s predominantes del noroeste, norte y noreste. Durante el primer semestre el chorro de viento de Panamá regula la manifestación de la ZCIT en la CPC, mostrando el desplazamiento de un cinturón de bajas velocidades con valores entre 0 a 4 m/s. Con relación al campo de vientos de la CPC durante el segundo semestre se registra el predominio de vientos del suroeste con velocidades entre 5 a 9 m/s, a excepción de la Zona Costera Norte (ZCN) en diciembre, registrándose vientos variables del oeste, noroeste y suroeste con velocidades entre 2 a 4 m/s. Las magnitudes anuales indican un predominio de vientos del suroeste en la mayoría de las regiones de la CPC, con velocidades entre 1 y 5 m/s, encontrándose los mayores registros de velocidad en las zonas sur y centro de la misma (Rueda *et al.*, 2007).

2.4 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

Superficialmente las aguas de la CPC siguen un régimen en el cual toman parte la corriente del Perú, la Contracorriente Ecuatorial, la corriente Colombia y la corriente de Panamá, las cuales cambian su intensidad durante el año dependiendo de la influencia de los vientos Alisios (Villegas & Málikov, 2006).

En marzo, cuando la ZCIT se encuentra en la parte sur, la temperatura superficial del mar del sector es mayor que en septiembre (temperatura promedia en marzo es 27,03 °C). En septiembre, cuando los Alisios del Suroeste se fortalecen, la temperatura disminuye (la temperatura promedia en septiembre es 26,05 °C). En marzo las aguas cálidas se encuentran en el sur y en el occidente de la CPC. En el norte y en el oriente de la región la temperatura del agua disminuye en 0,5 °C. En septiembre, en el sur de la CPC, la temperatura superficial del mar es menor que en el norte y oriente. Cerca a la costa la temperatura aumenta en 1,0 °C. En cuanto al movimiento de las aguas en las capas profundas, se observa una circulación local que puede resultar de la influencia de las cordilleras submarinas, las cuales obstaculizan el libre intercambio de aguas profundas de la CPC y aguas del océano Pacífico (Villegas & Málikov, 2006).

La Contracorriente Ecuatorial del Norte manifiesta su mayor intensidad en los meses de mayo a diciembre. Esta corriente se origina en el Pacífico central y se desplaza entre los 5 y 7° N hacia las aguas tropicales del Pacífico americano, desapareciendo sus efectos directos entre los 90 y 85° W, cuando sus aguas se integran parcialmente al sistema de circulación de la ensenada de Panamá y a la corriente de Costa Rica (Wirty, 1965).

Esta corriente presenta su máxima intensidad de mayo a diciembre cuando alcanza velocidades cercanas a 2 m/s disminuyendo temporalmente entre los meses de febrero a abril. Esto permite que las aguas tropicales de la ensenada de Panamá sean empujadas por los vientos Alisios del Norte y fluyan hacia el sur con gran intensidad durante los meses de febrero a abril. La corriente que resulta de este desplazamiento forma la Corriente del Golfo de Panamá (Forsbergh, 1969) que es ciclónica y puede alcanzar 150 cm/s de diciembre a abril cuando soplan con intensidad los Alisios del Norte, pero su velocidad disminuye a 50 cm/s de mayo a junio. Esta corriente se une en el oeste a la corriente ecuatorial del sur.

La corriente oceánica más importante del océano Pacífico Sur es la de Humboldt, que corre de sur a norte paralela al continente suramericano. Por la fuerza y dirección de los vientos y la fuerza de Coriolis, esta corriente se divide en dos: La corriente costera del Perú (la más próxima a la costa) y la corriente oceánica del Perú (alejada mar adentro) hacia el oeste. Estas aguas son de características subantárticas, de baja temperatura y salinidad (Zea & Montealegre, 1992) y muy ricas en nutrientes. Los vientos predominantes en estas latitudes son los Alisios del Sureste los cuales contribuyen al arrastre sur-norte de la corriente de Humboldt. Cuando estas aguas llegan cerca del Ecuador, los fuertes vientos del Este y la fuerza de Coriolis las desvían hacia el Oeste produciendo la corriente subecuatorial (Zea & Montealegre, 1992).

2.5 ASPECTOS BIOFÍSICOS

El Chocó Biogeográfico es una región de América tropical caracterizada por la presencia de variados mosaicos de ecosistemas y hábitats que concentran una inusitada diversidad de especies de plantas y animales. Abarca desde la provincia de Darién, al occidente de Panamá, hasta la provincia de Manabí, en la costa noroccidental de Ecuador y atraviesa toda la costa colombiana del Pacífico, en donde el límite occidental está definido claramente por el océano Pacífico.

La zona cuenta con características prácticamente irrepetibles en el planeta, en cuanto a diversidad biológica y cultural, consecuencia de historias geológicas y climáticas particulares; de complejos procesos de migración, evolución y adaptación de las formas de vida; y de procesos ecológicos, biológicos y etnoculturales que interactúan entre sí de manera muy particular. En esta área se encuentra la única selva lluviosa tropical continua en el Pacífico americano y es una de las regiones del planeta que posee la biota más diversa, con una riqueza excepcional de plantas, aves, reptiles,

anfibios y mariposas (Díaz & Gast, 2009).

La región del Pacífico colombiano es uno de los lugares más húmedos del mundo, llegando a presentarse precipitaciones durante la mayoría de los días del año. La precipitación promedio anual varía, de sur a norte y de oriente a occidente, entre 2.000 y casi 13.000 mm (Eslava, 1993). En la zona confluyen una gran cantidad de ecosistemas marinos y terrestres, con características excepcionales en cuanto a abundancia y diversidad de especies. La variedad de vegetación y fauna la han perfilado como una de las zonas de mayor biodiversidad del planeta, con un significativo número de especies endémicas (Gentry, 1993). En este sentido, se ha afirmado que la región ha sido identificada como “la de más alta concentración de biodiversidad por unidad de área reportada en el mundo. Se han encontrado hasta 400 especies de árboles y 800 vertebrados por hectárea, cifra récord, muy por encima de la Amazonia. Han sido descubiertas entre 7.000 y 8.000 especies de plantas de las 45.000 que hay en Colombia, y se cree que un poco más de 2.000 especies de plantas y 100 especies de aves de la región no se encuentran en otro lugar del mundo” (Leyva, 1993).

La gran concentración de formas de vida y de endemismos y el aún reducido grado de transformación de los sistemas naturales en esta región, se deben a su relativo aislamiento e inaccesibilidad, determinados por condiciones ambientales extremas, figurando entre las 25 regiones del mundo calificadas como prioritarias para la conservación de la naturaleza, por lo que ha sido denominada Punto Caliente de Biodiversidad (Díaz & Gast, 2009).

El Pacífico colombiano reúne prácticamente todos los ambientes y ecosistemas marinos del Pacífico oriental tropical, comprendido entre la Baja California, en México, hasta el norte del Perú. Este incluye lagunas costeras y estuarios, manglares, formaciones coralinas, extensas playas y acantilados y fondos sedimentarios que participan con una biota particular. Se estima que esta zona colombiana posee cerca del 70 % de las especies marinas de la región y que es una de las áreas de mayor diversidad del Pacífico americano (Cifuentes-Ramírez, 2002). En especies marinas, la región es solo superada por México en el Pacífico americano (Presidencia de la República, 1998).

El Pacífico insular colombiano está constituido por el archipiélago de Gorgona y Gorgonilla y el Islote de Malpelo. En Gorgona se encuentran especies propias de la selva húmeda tropical, formaciones coralinas, gran variedad de especies marinas, colonias de nidación de

aves marinas y de migración de aves playeras y marinas. Sus aguas son frecuentadas por delfines, cachalotes y la ballena jorobada, entre otros.

Gorgona es un pequeño archipiélago de gran importancia desde el punto de vista biogeográfico y ecológico y cuenta con la presencia de organismos tanto de hábitos terrestres y costeros, como oceánicos. Posee una alta variedad de hábitats marinos (zonas rocosas, coralinas, arenosas y gradientes de profundidad) y terrestres (áreas boscosas, acantilados, playas y rocas emergentes), que permiten la confluencia de una alta diversidad biológica en un área insular marina relativamente pequeña (PNNC, 2009).

Malpelo es un archipiélago rocoso constituido por la isla de Malpelo y diez peñascos aislados dispuestos al norte y sur de la Isla (Majluf, 2002), juega un importante papel biogeográfico en el Pacífico por incluir una serie de ambientes litorales que son los únicos en varios miles de kilómetros alrededor, por lo cual se constituye en una especie de trampolín para la dispersión de la fauna entre el Pacífico Oriental y el Indopacífico (Presidencia de la República, 1998).

Por encontrarse aislada del continente, Malpelo presenta especies endémicas. Sobre la Isla habita la colonia reproductiva más grande del mundo del piquero enmascarado (*Sula granti*) y en el ambiente marino se destaca la presencia de importantes formaciones coralinas y gran variedad de fauna (PNNC, 2009).

2.5.1 ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS DEL LITORAL PACÍFICO COLOMBIANO

En las regiones oceánicas y costeras colombianas están representados prácticamente todos los ambientes y ecosistemas marinos correspondientes a la franja tropical del Atlántico occidental y del Pacífico oriental, cuya variedad de especies contribuye a destacar a Colombia como país megadiverso (DNP, 2007)

Entre los ambientes más característicos del Pacífico colombiano se encuentran acantilados, litorales con altas colinas de rocas sedimentarias ígneas disectadas, colinas bajas sedimentarias, cordones litorales, playas activas, numerosos deltas fluviales y estribaciones de la cordillera Occidental Andina y de cadenas montañosas como la serranía del Baudó, que llegan hasta el litoral. Son también frecuentes islotes rocosos, llanuras aluviales inundables, pantanos de agua dulce, planicies de marismas, playas inundables y terrazas de origen volcánico localizadas en los deltas de los ríos más caudalosos.

El litoral en la parte norte del Pacífico colombiano, que va desde el límite con Panamá hasta Cabo Corrientes, está conformado por acantilados y peñas volcánicas que hacen parte de la margen occidental de la serranía del Baudó. Entre Cabo Corrientes y Buenaventura se presentan en forma alterna, serranías costeras y planicies litorales apoyadas en terrazas marinas, mientras que en el extremo sur, entre Buenaventura y la frontera con el Ecuador, la costa es plana (Castaño-Uribe, 2002).

La isla de Gorgona y la ensenada de Utría presentan pequeñas playas de arena blanca producidas por la erosión de los corales, mientras que los fondos marinos y el resto de las playas del Pacífico colombiano están constituidos en un 95 % por sedimentos lodosos de origen terrígeno aportados por ríos; el restante 5 % es producido por erosión costera.

Los ecosistemas que hacen presencia en esta región pueden estar basados en acumulaciones de materiales de naturaleza inorgánica como los acantilados, las playas arenosas y rocosas (bloques rocosos y de lodolita, cantos gravas), los planos de lodo, y los fondos permanentemente sumergidos, tanto rocosos como de arena y lodos; o en organismos vegetales o animales como lo son los manglares y los arrecifes coralinos (Cantera & Contreras, 1993).

A partir de la zonificación realizada en el país teniendo en cuenta los criterios para la delimitación de las ecorregiones que abarcan desde la morfología costera y la influencia continental sobre las aguas costeras, hasta la amplitud y el relieve de la plataforma continental y la presencia y dominancia de ciertos ecosistemas costeros, se reconocen nueve ecorregiones naturales en el Pacífico colombiano: Pacífica norte, Baudó, Buenaventura, Naya, Sanquianga, Tumaco, Gorgona, Malpelo y Pacífica oceánica.

Los ecosistemas que se encuentran a lo largo de estas ecorregiones pueden agruparse en: manglares, arrecifes de coral, fondos sedimentarios, lagunas costeras, estuarios, playas y acantilados (DNP, 2007).

2.5.1.1 Manglares

Los manglares son asociaciones vegetales que se ubican en la zona costera o en las orillas de ríos y son influenciadas por el mar y el agua dulce. Son reconocidas por presentar especies de árboles y plantas con adaptaciones especiales que les permiten tolerar la falta de oxígeno, altos niveles

de salinidad y distintos patrones de inundación. Tales adaptaciones les permiten colonizar suelos reducidos, inundados y salinos sujetos a cambios geomorfológicos. La combinación de estas adaptaciones morfológicas y fisiológicas no tiene comparación alguna con ninguna otra especie vegetal, por lo que son consideradas únicas y exclusivas de los manglares (Tomlinson, 1986).

Los ecosistemas de manglar se encuentran entre los más productivos del planeta, del que a su vez dependen otros, incluyendo buena parte de los arrecifes coralinos (Castaño-Uribe, 1989). Este ecosistema no sólo representa una fuente de energía y un sustrato de sostén, sino que también sirve como área nodriza (donde se lleva a cabo la reproducción de muchos organismos y se desarrollan las larvas de peces, crustáceos y moluscos, muchos de ellos de importancia comercial) y medio de protección a una gran cantidad de organismos que encuentran en sus troncos, entre sus raíces o en el fango, un refugio natural (Cantera & Contreras, 1993).

En el Pacífico colombiano, los ecosistemas de manglar presentan baja diversidad en su composición vegetal, a pesar de esto son altamente productivos. Esta productividad es la base de sucesiones tróficas y del flujo de nutrientes dentro del manglar mismo y hacia sistemas aledaños, como el de transición entre el piedemonte y el manglar o las playas traseras (Lasso & Cantera, 1995). Estos manglares ocupan una extensión de alrededor de 327.000 ha, equivalentes al 85 % de la totalidad de la cobertura de manglares en el país. Aproximadamente el 75 % de la línea costera del Pacífico está flanqueada por estos bosques anfibios, cuya anchura es muy variable, puesto que depende de la inclinación del terreno, de las características del suelo y del grado de penetración de las mareas aguas arriba de la desembocadura de los ríos y esteros.

En las amplias llanuras aluviales de los ríos Patía y Sanquianga, la franja de manglar se extiende hasta más de 30 km tierra adentro; en las zonas deltaicas de otros grandes ríos, como el Mira, el Guapi, el Iscuandé, el Anchicayá, el San Juan y el Baudó, tiene un promedio de 10 km y en la costa norte del Pacífico colombiano, flanqueada por colinas, no supera los 500 m (Díaz & Gast, 2009).

La cobertura de manglares en el Pacífico colombiano se extiende desde el río Mataje, en el sur de Nariño, hasta las cercanías de Cabo Corrientes en Chocó, donde se interrumpe, para continuar con pequeñas franjas en

el golfo de Tribugá, ensenada de Utría y en Juradó, en límites con Panamá (Prahl, 1989). Entre los ríos Iscuandé y Patía se encuentran las formaciones más amplias de manglares en Colombia, área que conforma el Parque Nacional Natural Sanquianga (Sánchez-Paéz & Álvarez-León, 1997).

Los manglares más robustos y desarrollados de América del Sur se encuentran en el Pacífico colombiano (Majluf, 2002), conformados por especies que pertenecen a cinco familias: Rhizophoraceae (*Rhizophora mangle* y *R. harrisonii*), Avicenniaceae (*Avicennia germinans* y *A. tonduzii*), Combretaceae (*Laguncularia racemosa* y *Connocarpus erectus*), Theaceae (*Pelliciera rhizophorae*) y Caesalpinaceae (*Mora megistosperma*).

Estas especies se distribuyen dependiendo de las características medio ambientales, como amplitud y rango de protección de las mareas, composición del suelo, oferta de agua dulce, protección de la acción directa del oleaje y del acarreo de arena, flujo de nutrientes, microtopografía y clima, entre otros. Dependiendo de estas condiciones se agrupan en Manglares de barras, Manglares ribereños y Manglares de borde.

Otros tres tipos de manglares se han descrito en el Pacífico colombiano, pero en realidad son solamente diferentes estados de los citados anteriormente y se conocen como Manglares invertidos, Manglares enanos y Manglares de islotes (Cantera & Contreras, 1993).

2.5.1.2 Lagunas Costeras y Estuarios

El Océano Pacífico en la costa colombiana da paso a dos tipos importantes de humedales: los marinos y estuarinos. Esta región presenta una tendencia hacia la formación de fondos lodosos y cenagosos en los cuales se distribuye muy bien el mangle (Rangel *et al.*, 1997)

Las lagunas costeras son depresiones formadas en las ensenadas o en las partes terminales de los planos de inundación de los ríos; algunas son de origen tectónico y otras se forman por la acumulación de sedimentos arrastrados por las corrientes marinas; estas unidades ecológicas se diferencian de los estuarios por sus rasgos geomorfológicos, sin embargo sus características biológicas, físicas y químicas son similares (Lankford, 1977).

La principal diferencia de los estuarios consiste en que el cuerpo de agua es semicerrado y tiene una conexión libre con el mar la cual se diluye con el agua proveniente del drenaje terrestre ya sea por un río o flujos de agua estacional. Mientras que la laguna costera es una depresión que permanece por debajo del nivel

promedio más bajo de la marea más baja, teniendo una comunicación con el mar permanente y una barrera de protección al oleaje del mar (Álvarez-León & Polanía, 1994).

En el Pacífico colombiano el ecosistema de Estuarios y Lagunas Costeras presenta unas características interesantes ya que este se encuentra ligado al sistema fluvio-deltaico de la región, observándose dos grandes abanicos fluviales presentes entre los ríos Tapaje y Patía y el delta del San Juan. Estos sistemas fluvio-deltaicos presentan características geomorfológicas como depósitos aluviales, valles fluviales, alta precipitación y zonas de mezcla de aguas, al igual que mareas semidiurnas, características que hacen de esta una región muy particular (Prahl *et al.*, 1990).

Las principales lagunas costeras y estuarios se manifiestan en los deltas de los ríos Juradó, Paradó, San Juan y Patía; la desembocadura de los ríos Catipre, Baudó, San Juan de Micay y Guapi y las bahías de Málaga, Buenaventura y Tumaco (Steer *et al.*, 1997).

Las lagunas costeras del Pacífico colombiano se han clasificado de acuerdo con Prahl *et al.* (1990) de la siguiente manera:

- a. Lagunas costeras asociadas con sistemas fluvio-deltaicos: ríos Tapaje, Patía, y San Juan.
- b. Sistemas lagunares de bancos que se presentan en los ríos Juradó, Micay y en la zona de San Juan de la Costa. Corresponde al tipo de lagunas más frecuentes en el Pacífico.
- c. Lagunas de erosión que se presentan claramente en zonas como Bahía Málaga, Buenaventura y la ensenada de Tumaco.
- d. Lagunas tectónicas: la única laguna costera de este tipo en el Pacífico colombiano es la ensenada de Utría.

La importancia de este ecosistema para las pesquerías del mundo es ampliamente reconocida. Su alta productividad y las cadenas tróficas allí establecidas brindan alimento y protección a más de 2.000 especies de peces, aves acuáticas, crustáceos, moluscos y plantas epífitas (Hamilton & Snedaker, 1984).

2.5.1.3 Arrecifes Coralinos

Los arrecifes son ecosistemas costeros que se encuentran en zonas tropicales, donde la temperatura media anual no desciende de 20°C. Por sus características de vida, los corales ocupan áreas donde las aguas son someras, las salinidades relativamente elevadas y presentan baja turbiedad (Cantera & Contreras, 1993).

El Pacífico oriental tropical presenta condiciones geomorfológicas, climáticas y oceanográficas especiales las cuales son poco favorables para la formación y desarrollo de arrecifes coralinos (Zapata & Vargas-Ángel, 2003), razón por la cual tienen escasa presencia tanto en extensión como en diversidad de especies (Cifuentes-Ramírez, 2002).

El Pacífico colombiano se caracteriza por una fauna coralina particular, estrechamente relacionada con poblaciones coralinas del Indopacífico (Prahl, 1985). En esta área existen diferentes tipos de arrecifes, destacándose el de tipo franjeante, (Acosta *et al.*, 2007) que en el Pacífico colombiano junto a los arrecifes de parche presentan una extensión total de 15 km² y se encuentran distribuidos en torno a la isla Gorgona (Díaz *et al.*, 2001), en la ensenada de Utría (Prahl & Erhardt, 1985; Zapata, 1994; Vargas-Ángel, 1996) y en Punta Tebada (Prahl & Erhardt, 1985).

En general, estos arrecifes franjeantes y en particular algunas comunidades coralinas colombianas, presentan baja construcción del andamiaje arrecifal, pobre estructura ecológica y patrones de zonación imprecisamente definidos (Vargas-Ángel, 2001; Barrios & López-Victoria, 2001).

Estos arrecifes pueden estar formados por dos grandes tipos morfológicos de corales: los corales de crecimiento ramificado y los corales de crecimiento masivo. Al primer grupo pertenecen los géneros *Pocillopora* y *Psammocora* que habitan, generalmente, en zonas poco profundas y que adquieren diferentes formas (llamadas ecoformas) de acuerdo con las condiciones ambientales del hábitat, principalmente profundidad y corrientes. Al segundo pertenecen tres géneros: *Pavona*, *Porites* y *Gardineroseris*.

Los arrecifes de la isla Gorgona son los más extensos, desarrollados y diversos del Pacífico colombiano (Glynn *et al.*, 1982), con bancos dominantes, en un 75% del género *Pocillopora*, con seis especies. Además, se encuentran otras siete especies de corales masivos de los géneros *Gardineroseris*, *Porites* y *Pavona*, que predominan en profundidades de 6 m y tienen un crecimiento más lento.

En la isla de Malpelo no se presentan formaciones de arrecifes coralinos verdaderos, sólo existen algunas comunidades coralinas bien desarrolladas (representantes de los arrecifes oceánicos del Pacífico colombiano) en sectores de suave pendiente, por lo cual se ha sugerido que sus arrecifes se ven limitados por la falta de sustrato horizontal adecuado (Zapata, 1994).

Sobre estos sustratos rocosos y generalmente verticales no se han formado arrecifes propiamente dichos, sino tapetes coralinos compactos (Prahl, 1985) que tienen un buen desarrollo hasta los 30 m de profundidad (Prahl & Erhardt, 1985). Las zonas someras de la isla están dominadas en general por el género *Pocillopora* y las zonas profundas por corales masivos como *Porites*, *Pavona*, *Gardineroseris*.

Los corales de la Isla se encuentran en dos agrupaciones. La primera conocida como “La Nevera”, en la que predomina el género *Pavona*; y la segunda, “El Arrecife”, en la que las especies se distribuyen de acuerdo a la profundidad de la zona y en la que se encuentran *Pocillopora capitata* y *P. eydouxi*, *Porites lobata*, *Pavona clavus* y *P. lobata*, *P. varians*, y *P. Chiriquiensis* y *Gardineroseris plumulata* (Chasqui & Zapata, 2007), siendo *Porites lobata* la especie de coral más abundante (Garzón-Ferreira & Pinzón, 1999).

Las comunidades coralinas presentan una zonificación acorde con la profundidad; en aguas someras hasta los 9 m, se encuentra el género *Pocillopora*, de ahí hasta cerca de los 20 m, los géneros *Pavona* y *Porites* y a mayores profundidades el género *Gardineroseris* (Castaño Uribe, 2000) y colonias aisladas de *Tubastraea* en zonas rocosas de poca iluminación (Zapata & Vargas-Ángel, 2003). De este punto hacia abajo, se encuentran algas filamentosas, pequeñas esponjas incrustantes, ostras del género *Ostrea* y el hidrocoral ramificado *Errinopora pourtalessi*.

Se considera que los arrecifes de la ensenada de Utría son los más extensos y maduros de la zona del litoral Pacífico colombiano (Vargas-Ángel, 1996). Las zonas de coral se caracterizan por abundantes colonias de los géneros *Pocillopora*, *Psammocora*, *Pavona* y *Porites*. Asimismo, es posible observar colonias de *Pavona clavus* y *Porites lobata* (Zapata & Vargas-Ángel, 2003; Vargas-Ochoa y Ramírez-Gallego, 2008); estos arrecifes están dominados por compactos tapetes de *Pocillopora damicornis* y *Psammocora stellata* (Prahl, 1985). También se encuentran otras especies como *Pocillopora capitata*, *Pavona varians* y *P. gigantea* (Vargas & Ramírez, 2008).

2.5.1.4 Playas y Acantilados

2.5.1.4.1 Playas Arenosas

Son ecosistemas que se forman por la acumulación de sedimentos no consolidados, que han sido transportados a la costa y se moldean por el movimiento del agua y el viento; se caracterizan como un biótopo (comunidad de elementos y organismos que viven en un espacio

restringido); aparecen generalmente en costas abiertas, en las bocanas de los estuarios, bahías y golfos y en las desembocaduras de los ríos. Están formadas principalmente por el aporte de material silíceo de origen continental traído por los ríos, o por materiales que resultan de la erosión costera y de los arrecifes coralinos.

Entre los aspectos que caracterizan el ecosistema, están la granulometría, la porosidad y la naturaleza del sustrato, factores que determinan su capacidad para retener agua. La acción del oleaje y las mareas limita las condiciones de vida e incide en el tipo de arena, la pendiente de la playa y la movilidad del suelo (Castaño-Urbe, 2002).

Cerca del 40 % del Pacífico colombiano está compuesto por playas arenosas de poca inclinación. El amplio rango de mareas y la mayor productividad de la fauna asociada al litoral arenoso le dan mayor diversidad que al Caribe.

Son característicos los cangrejos fantasmas (rojo y naranja), las almejas, gusanos y dólares de arena. Hay por esto gran número de aves playeras migrantes. Varias especies de tortugas anidan en estas playas.

La costa Pacífica colombiana, desde la frontera con Ecuador hasta Cabo Corrientes, presenta un litoral formado básicamente por amplios planos aluviales en un 95 %, interrumpido en pocos lugares por sustratos rocosos de areniscas o limonitas de alguna dureza, como en Tumaco y las bahías de Málaga y Buenaventura.

En el Pacífico, aproximadamente el 40 % de las playas son arenosas, de poca inclinación, formadas en un 96 % por sedimentos aluviales y con gran diversidad y abundancia debido a la fluctuación de mareas y la mayor productividad de la fauna asociada al litoral (Franco, 2007). En esta región se distinguen dos tipos de costas, una de alta montaña que va desde la frontera con Panamá hasta el sur de Cabo Corrientes y la segunda que abarca desde el sur de Cabo Corrientes hasta la frontera con Ecuador (Martínez, 1992).

Estas playas se encuentran a lo largo de los dos tipos de costas, tienen longitudes entre 1 a 10 km y amplitudes de mareas bajas entre 200 y 400 m y en mareas altas de 2 a 3 m. De manera general tienen una pendiente baja, entre 4° y 8°, conformadas por arenas finas a medias, ocasionalmente gruesas a gravosas, de color oscuro, debido a que provienen de la descomposición de las rocas volcánicas o del alto contenido de materia orgánica y minerales ferromagnesianos (Posada *et al.*, 2009).

Este ecosistema está formado por el depósito de

sedimentos no consolidados, transportados a las costas y moldeados en formas características mediante la acción del movimiento del agua generado por las olas, corrientes y otros factores físicos como el viento. Aunque las playas parezcan estériles, existe un número insólitamente grande de especies de plantas y animales que dependen de las interacciones entre varios factores, incluyendo sus procesos dinámicos (acumulación y erosión) (Snedaker & Getter, 1985).

La productividad de este ecosistema es relativamente baja, pero de estos sustratos de tipo arenoso y/o fangoso depende gran parte de la pesca marina, ya que existe una estrecha relación con la riqueza de la columna de agua y los aportes de materia orgánica (Steer *et al.*, 1997). Algunos de los factores determinantes en la diversidad biológica de las playas son la granulometría, porosidad y naturaleza del sustrato, acción del oleaje, contenido de gases disueltos (especialmente el oxígeno), temperatura y salinidad (Márquez, 1990).

De acuerdo con la intensidad del oleaje los ecosistemas de playas arenosas se clasifican en playas de alta o baja energía; en Colombia, y en general en los mares tropicales, predomina el primer tipo, es decir, de fuerte oleaje (Dexter, 1974).

En la parte norte del litoral Pacífico se encuentran playas resguardadas donde la energía de las olas es relativamente baja, como Bahía Solano, Humboldt, Aguacate, Coredó Nabugá y Guaca. En la costa sur las playas se caracterizan por estar formadas principalmente de sedimentos areno-fangosos debido a los aportes de ríos importantes como el Baudó, San Juan, Dagua, Anchicayá, Naya, Patía y Mira (Cantera & Contreras, 1993; Martínez, 1993). En esta zona son bien importantes las formaciones isla – barrera (Martínez & González, 1997), que son cuerpos de arena que se hallan separados por bocanas o estuarios asociados a la desembocadura de los principales ríos que desaguan al mar; alcanzan longitudes de arena que varían entre 3 y 10 km y un ancho promedio de 1 km; son de escasa elevación y no superan 1,50 m por encima del nivel promedio de marea alta, siendo uno de los rasgos característicos de estas formaciones la presencia de crestas de playas similares a las encontradas en la parte norte (Martínez, 1993).

2.5.1.4.2 Litoral Rocoso y Acantilados

El litoral rocoso del Pacífico colombiano está conformado principalmente por rocas cohesivas, que se extienden por los departamentos de Chocó, Valle del Cauca y Nariño. Las rocas cohesivas son más resistentes a la meteorización, conforman acantilados y

están representadas en islotes, pilares, arcos y cavernas, mientras que las rocas no cohesivas son frágiles y poco resistentes al golpe de las olas, forman acantilados pero de menor tamaño que las rocas cohesivas y están representadas por colinas bajas y terrazas (Posada *et al.*, 2009).

El ecosistema puede ser dividido en dos grandes áreas geográficas diferenciales a partir de Cabo Corrientes. En la parte norte, dominada por las estribaciones de la Serranía del Baudó, se hallan acantilados rocosos con una longitud aproximada de 287 km formados por basaltos (Martínez, 1993), presentándose en regiones como Punta Marzo, Bahía Humboldt, Punta Cruces, Punta Solano, ensenada de Utría y Cabo Corrientes. En las áreas de Bahía Cupica, Bahía Solano y ensenada de Tribugá, el borde marino está constituido por rocas de diferente tipo.

Hacia el sur de Cabo Corrientes los acantilados aparecen como formaciones discontinuas al sur de la desembocadura del río San Juan, Bahía Málaga, bahía de Buenaventura, Golfo de Tortugas y en isla del Gallo, en Tumaco (Díaz-Pulido, 1997). En el área oceánica del Pacífico colombiano se destaca el litoral rocoso de la Isla Malpelo, la cual es un promontorio rocoso de unos 376 msnm y una extensión aproximada de 35 ha, con acantilados rocosos que bajan casi verticalmente hasta los 90 m de profundidad (Birkeland *et al.*, 1975; Prahel, 1990).

El litoral desde Cabo Corrientes hasta la frontera con Panamá está formado en un 90 % por acantilados de roca basáltica de gran dureza, que son parte de la margen occidental de la cordillera del Baudó, interrumpidos por pequeñas playas de bolsillo con cantos rodados y bloques entre numerosos cabos que presenta esta costa.

El alto rango de mareas de más de cuatro metros, hace que la comunidad de organismos del litoral rocoso se dé en forma de franjas anchas, formadas principalmente por balanos y moluscos gasterópodos, aunque es de notar la pobre representación de algas. Los inventarios realizados en Buenaventura y Málaga arrojan un total de nueve especies de algas y más de 100 de invertebrados.

El sustrato rocoso generalmente se extiende varias decenas de metros bajo el nivel del mar, mostrando una comunidad de moluscos, octocorales, algunas esponjas y algas incrustantes. También se observan colonias aisladas de corales y merecen destacarse los atractivos fondos rocosos de la isla de Malpelo.

Es una unidad ecológica constituida por una comunidad

biológica asentada sobre el material geológico parental que aflora del litoral formando acantilados rocosos o sobre sustratos duros secundarios, como plataformas calcáreas emergidas por movimientos de la corteza terrestre y glaciaciones. Las formaciones rocosas compactas presentan generalmente una pendiente muy marcada, razón por la cual caen directamente al mar, formando costas altas. Se desarrolla principalmente en la zona de marea, en la interfase mar – tierra, delimitado en su parte superior por la vegetación terrestre y en su parte inferior por la desaparición del sustrato rocoso (Corpes, 1992; Cantera & Contreras, 1993).

Los litorales rocosos se encuentran en ambientes que reciben un fuerte impacto del oleaje y los organismos están sometidos a condiciones intermitentes de exposición al aire y al agua, recibiendo una alta radiación solar, factores que determinan que las especies que habitan allí presenten cierto tipo de adaptaciones morfológicas y fisiológicas para resistir tales condiciones extremas; entre algunas adaptaciones encontramos la morfología más bien aplanada, sistemas de agarre bien desarrollados y cuerpos generalmente flexibles o calcáreos (Vegas, 1980; Barnes & Hughes, 1986). Estos factores de tensión natural favorecen una biocenosis muy diversificada, basada en la productividad de algas bénticas y de algunos aportes exógenos (Márquez, 1996).

Las comunidades de organismos en estos ecosistemas dependen de la clase de litoral. En aquellos litorales donde los procesos de abrasión son constantes, las comunidades no alcanzan estadios de sucesión avanzados y la diversidad es mínima, mientras que en aquellos que tienen procesos de abrasión lentos se pueden encontrar comunidades de organismos más estables y diversas. Sin embargo, existen otros factores como la temperatura, la salinidad, los vientos, las mareas y las lluvias que pueden afectar la presencia de las comunidades en esta zona (López *et al.*, 2006). En este sentido, el litoral rocoso del Pacífico colombiano tiene alta diversidad en flora y fauna, con una distribución demarcada de acuerdo a la influencia del mar (López-Victoria *et al.*, 2004).

Existen diversas terminologías empleadas en la zonación de los litorales (Brattström, 1980), pero todas ellas se han basado en términos biológicos lo cual es necesario porque aunque éstas zonaciones estén relacionadas con niveles de marea, hay muchos otros factores que influyen sobre la misma como topografía y estabilidad del sustrato, factores climáticos, geología natural del litoral, grado de exposición al oleaje, desecación y cambios de temperatura (Little & Kitching, 1996).

La zonación que se presenta en este ecosistema está

definida con base en organismos indicadores y las condiciones físicas ya mencionadas. Para las regiones tropicales el esquema más utilizado es el Stephenson y Stephenson (1949), que identifica claramente tres zonas: **1) Supralitoral:** zona de transición entre la tierra y el mar, **2) Mesolitoral:** zona media, caracterizada por una mayor actividad de las mareas y por consiguiente las continuas inmersiones y emersiones, **3) Infralitoral:** es el área de inmersión continua, (Vegas, 1980). La mayor diversidad biológica se presenta en el mesolitoral e infralitoral, lo que es de esperarse, dada la mayor adaptabilidad que requieren los organismos del supralitoral, los cuales se encuentran sujetos a continuas emersiones.

2.5.1.4.3 Playas Rocosas

Las playas rocosas son la continuación de un acantilado que ha sufrido erosión y las zonas superiores presentan una composición faunística muy similar a la de ellos. La parte alta de la playa está ocupada por cangrejos Grapsidae y moluscos Littorinidae y Muricidae. La parte inferior de estas playas constituye uno de los ecosistemas costeros con mayor biodiversidad en el Pacífico colombiano presentando una fauna de casi todos los grupos de organismos bentónicos marinos, principalmente, gastrópodos de las familias Columbellidae, Buccinidae, Neritidae, bivalvos de las familias Cardiidae y Arcidae, cangrejos de las familias Xanthidae y Porcellanidae, equinodermos (estrellas frágiles y erizos), gusanos planos, poliquetos, briozoarios, esponjas, ascidias e hidrozoarios que pueden habitar sobre cavidades de las rocas, o debajo o dentro de estas, como protección contra la desecación y los predadores (Cantera & Contreras, 1993).

2.5.1.5 Fondos Sedimentarios

Los fondos sedimentarios son ecosistemas formados por el depósito de sedimentos sobre el lecho marino. Se inician por debajo de los 5 m de profundidad y se extienden hasta donde termina la plataforma continental (130 m – 150 m). Son los ecosistemas más extensos y albergan numerosas especies de valor comercial (DNP, 2007); y en Colombia alcanzan un ancho promedio de 22 km, desde la línea de costa y ocupa unas 6'600.000 ha (Arias, 1994).

Los fondos sedimentarios pueden diferenciarse espacial y estructuralmente: los fondos submarinos cubiertos por sedimentos de diversa textura y composición se extienden desde la zona infralitoral hasta las mayores profundidades; los fondos de la plataforma continental son aquellos ubicados por debajo de los 5 m de profundidad, hasta el punto de quiebre de la plataforma, sin incluir la zona intermareal de playas ni los fondos

vegetados (Corpes, 1992).

El sustrato de la plataforma continental, cerca del litoral, tiene una parte maciza que puede estar mezclada con rocas de diferentes tamaños, arenas y restos calcáreos de seres vivos; al aumentar la profundidad, se hace más blando y fino, hasta convertirse en fango o arcilla (Lorin *et al.*, 1973; Blanco, 1993). Esta gradación está influenciada por la descarga de sedimentos continentales provenientes de las desembocaduras de los ríos. De acuerdo con las evaluaciones batimétricas hechas por la Armada Nacional, hace menos de una década los fondos sedimentarios podrían cubrir cerca del 95 % de la plataforma continental de Colombia (Corpes, 1992).

Los fondos sedimentarios que bordean la costa Pacífica colombiana están constituidos principalmente por lodos de origen terrestre al norte de Cabo Corrientes y por lodos arenosos terrígenos al sur de éste.

En los fondos de la plataforma habitan comunidades biológicas que poseen elementos faunísticos poco variados. La fauna bentónica de profundidad tiene dos componentes: la infauna que está constituida por los grupos de organismos que se encuentran enterrados en el sedimento y la epifauna por aquellos que están por encima de él.

A diferencia de otros ecosistemas marinos, la producción primaria de los fondos sedimentarios es muy baja y tanto la infauna como la epifauna dependen del aporte de materia orgánica proveniente de los estratos superiores de la columna de agua o del transporte horizontal de elementos de otros ecosistemas más productivos (Castaño-Uribe, 2002).

Es un ecosistema de gran importancia como productor de alimentos, fuente de materia prima, reciclaje de nutrientes y por lo tanto estabilizador del ciclo de vida de muchos organismos y particularmente de especies comerciales, que constituyen una base económica para los países costeros (Corpes, 1992).

Existen amplias extensiones de la plataforma continental, desde la costa hasta mayores profundidades, compuestas por fondos arenosos, areno-fangosos o lodosos, que presentan comunidades biológicas que poseen elementos faunísticos aparentemente poco variados en comparación con otros ecosistemas. El tipo de sedimento va a marcar la diferencia en la composición de los organismos asociados a los fondos; sin embargo, los organismos asociados a los fondos sedimentarios presentan adaptaciones estructurales y fisiológicas de

gran complejidad, como el desarrollo de mecanismos de desplazamiento y excavación en el sustrato que les permite construir galerías y túneles para escapar de la acción mecánica del oleaje y de los depredadores y presentan estructuras para la ingestión y la respiración bajo el sedimento.

Otras adaptaciones que también son determinantes en la estructura de las comunidades y estabilidad espacio-temporal son: el tipo de grano, profundidad, contenido de material orgánico, capacidad del sedimento para intercambio de gases y las surgencias (Alongi, 1989; Corpes, 1992; Guzmán-Alvis & Díaz, 1993).

2.5.1.6 Áreas Marinas Protegidas

Colombia ha implementado la conservación de la biodiversidad a través del establecimiento, administración y manejo de áreas protegidas. Estas áreas forman parte del programa destinado a evitar la contaminación, mantener la biodiversidad de los ecosistemas, los bancos genéticos silvestres; y el uso racional, científico y educativo de los recursos naturales. Se encuentran divididas en cinco categorías de carácter estricto: Parques Nacionales, Reservas Nacionales, Santuarios de Fauna y Flora, Vía Parque y Área Natural Única, todas ellas pertenecientes al Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN) de Colombia (MMA, 2001).

Dentro de las áreas protegidas marino-costeras representativas del Pacífico se encuentra el Parque Nacional Natural (PNN) de Utría, el PNN Isla Gorgona, el PNN Sanquianga, el PNN Bahía Málaga y el Santuario de Fauna y Flora (SFF) Malpelo.

2.5.1.6.1 Parque Nacional Natural Utría (PNN Utría)

El Parque Nacional Natural Utría, está ubicado a latitud 5° 52' - 6° 9' N y 77° 08' - longitud 77° 24' W del departamento del Chocó, en la costa norte del Pacífico colombiano, en la zona sur de la serranía del Baudó. Se encuentra bajo la jurisdicción de los municipios de Bahía Solano, Nuquí, Alto Baudó y Bojayá. Hace parte de la región denominada Provincia Biogeográfica del Chocó, zona que es considerada como de alta prioridad de conservación a nivel mundial debido a su diversidad biológica y endemismo (Uaesppn, 2007). De acuerdo con los cálculos de la National Academy of Science, el parque alberga unas 125 especies de mamíferos, 400 de aves y 1.000 de reptiles tan solo en el bosque húmedo, sin contar el ecosistema marino. Debido a su aislamiento de los Andes ha desarrollado especies endémicas (tanto de flora como de fauna) que no se encuentran en ninguna otra parte.

El PNN Utría encierra cuatro de los ecosistemas más

productivos y a la vez más frágiles del planeta: los corales, los manglares, la selva húmeda tropical y el ecosistema marino; las cuatro formaciones coralinas presentes en el Parque reportan 10 especies con la predominancia del género *Pocillopora*, las cuales en su mayoría poseen adaptaciones a condiciones de alta tensión natural y han estado expuestas a un alto grado de afección y deterioro por parte del hombre. Por otro lado, existen 33 ha de sistema estuario- manglar dentro del PNN Utría que es un ecosistema fundamental para la reproducción, protección y desarrollo de una gran cantidad de especies ícticas y de recursos hidrobiológicos en general, con siete de las diez especies de mangle reportadas para el Pacífico colombiano, dos especies de mangle rojo (*R. mangle* y *R. harrisonii*), piñuelo (*Pelliciera rhizophorae*), negro (*Avicennia germinans* y *A. tonduzii*), nato (*Mora megistosperma*), botón y blanco (*Laguncularia racemosa* y *Connocarpus erectus*) (PNNC, 2007).

En este ecosistema se presentan algunas de las familias de peces más representativas en número de especies y de importancia comercial como: Carangidae, Serranidae, Lutjanidae, Haemulidae y Sciaenidae, entre otras. En mamíferos se ha reportado *Saguinus geoffroyi* (mico tití), *Cebus capuchinus* (mono cabeciblanco), *Sciurus granatensis* (ardilla grande), *Microsciurus cf. alfari* (ardilla pequeña), *Dasyprocta punctata* (ñeque), *Caluromys derbianus* (chiure), *Didelphis marsupialis* (zorra come gallina), *Bassaricyon gabbii*, *Potos flavus* (marteja), *Agouti paca* (guagua), *Eira barbara* (zorra cabeciblanca), *Chironectes minimus* (chucha de agua), *Procyon cancrivorus* (lobo manglero), *Mazama americana* (venado), *Felis cf. pardalis* (tigrillo), *Felis cf. concolor* (puma), *Tayassu tajacu* (puerco) y *Nasua narica* (gatosolo), así como una gran abundancia de invertebrados marinos como moluscos y crustáceos, siendo los gasterópodos y los bivalvos los más representativos (Uaesppn, 2007).

En cuanto al ecosistema marino, sus aguas cálidas y someras son uno de los lugares preferidos por la *Megaptera novaeangliae* (ballena Jorobada) la cual migra a esta zona para cumplir su función de crianza y apareamiento, visita anualmente la zona y permanece con sus crías hasta obtener un porcentaje de grasa que le permita regresar a los mares del sur. También se observan mamíferos marinos permanentes y ocasionales; entre los permanentes se pueden observar: *Tursiops truncatus* (delfín pico de botella) y *Stenella attenuata* (delfín moteado), entre los ocasionales se han presenciado *Physeter macrocephalus* (cachalote), *Orcino orca* (orca) y lobos marinos de la familia Otariidae, entre otros, además de una gran variedad de especies de peces como:

Lutjanus spp. (pargo), *Caranx spp.* (jurel), *Tylosurus spp.* (aguja) y especies migratorias como *Thunnus albacares* (albacora), *Coryphaena spp.* (dorado), *Lutjanus colorado* (pargo rojo), *Rhincodon typus* (tiburón ballena) y *Galeocerdo cuvieri* (tiburón tigre o tintorera).

En los últimos años algunas especies de peces se han visto amenazadas por presión antrópica entre las cuales está el guacapa (*Pristis spp.*) del cual no se tienen reportes de avistamientos desde 1998, siendo este un indicador del alto grado de disminución de sus poblaciones; así mismo, la especie *Tylosurus acus pacificus* (aguja ensenadaña), que tiene ciclo de desove mensual, ha sido objeto de una fuerte presión de pesca dentro de la ensenada por parte de las comunidades aledañas al Parque. Otro problema para el área es la presión sobre el recurso pesca por presencia de barcos semiindustriales y la utilización de artes de pesca inadecuadas (Uaesppn, 2007).

Otro ecosistema que es importante nombrar debido a su riqueza hidrobiológica y a su función ecológica como anidadora de especies migratorias son las playas, en las cuales se observan especies de tortugas marinas como *Lepidochelys olivacea* (tortuga golfina o verde), *Eretmochelys imbricata* (tortuga carey), así como en las formaciones coralinas de la ensenada de Utría. De igual forma, aves migratorias, marinas y playeras como cormoranes, gaviotas, gaviotines, chorlitos y algunas garzas que se alimentan de los crustáceos que habitan estas playas de arenas finas y grisáceas. Por su parte, la selva húmeda tropical posee una vegetación densa con predominancia de especies arbóreas de hasta 1 m de diámetro y 45 m de altura.

En el sotobosque es común encontrarse bejuocos leñosos, epífitas, rubiáceas y melastomatóceas sin que se destaque una especie en particular; es importante destacar la presencia de gran cantidad de bromeliáceas que con el agua acumulada en las brácteas, son el depósito perfecto para larvas de insectos y anuros en los que sobresalen la rana arlequín y las venenosas. Dentro de las especies arbóreas predominantes en los estratos superiores sobresalen el cedro, la huina, el chanul, el guayacán y el espavé, así como las palmas que son las plantas de mayor abundancia y potencial económico como el naidí, del cual se extraen los palmitos. Pero esta abundancia en la vegetación está íntimamente ligada a sus dispersores y polinizadores.

El PNN Utría es el sitio de mayor diversidad en orden Chiroptera (murciélagos) en el país, con reportes de 26 especies pertenecientes a tres familias de grupos distribuidos en varias categorías tróficas como frugívoro, insectívoro, omnívoro y nectarívoro-polinívoro. Por otro

lado, es importante destacar el orden Rodentia como el segundo grupo de mamíferos más abundante en el Parque, con la particularidad de endemismos como la rata *Orthogeomys thalery* (covatierra o rata cavadora), la cual fue reportada como endémica de la Serranía del Baudó (Uaesppn, 2007).

El manejo de fauna por parte de las comunidades que habitan el PNN Utría ha sido investigado ampliamente por la Fundación Natura en donde se menciona la disminución, escasez y extinción local de fauna de caza, así como las relaciones culturales frente al manejo y conservación de estos recursos. Entre las especies identificadas y categorizadas por la UICN como vulnerables o en peligro se encuentran *Myrmecophaga tridactyla* (oso hormiguero), *Felis onca* (pantera), *Lutra longicaudis* (nutria), *Tapirus bairdii* (danta), *Crypturellus kerriae*, *Crax rubra* (pavón) y *Ara ambigua* (guacamaya) (Uaesppn, 2007).

2.5.1.6.2 Parque Nacional Natural Isla Gorgona (PNN Isla Gorgona)

El área protegida incluye territorio insular y área marina y se localiza en el Océano Pacífico al suroccidente colombiano. Políticamente pertenece al corregimiento de isla Gorgona y Gorgonilla del municipio de Guapi, en el departamento del Cauca. El punto más cercano en el continente se encuentra a 35 km, en Punta Reyes, donde se ubica la localidad de Bazán, en el municipio de El Charco (Nariño). El área terrestre es de 1.382,28 ha (1.333,29 ha Gorgona y 48,99 ha Gorgonilla) lo que corresponde al 2,40 % y el área marina es de 60.305,22 ha (97,76 %). El parque protege dos de los ecosistemas más diversos del trópico: los arrecifes coralinos y la selva húmeda tropical. Actualmente, hace parte de la estrategia de Corredor Marino de Conservación del Pacífico Tropical Oriental (CPPS, 2009).

La ubicación geográfica estratégica de Gorgona la convierte en un sitio importante desde el punto de vista biogeográfico y ecológico. Teniendo en cuenta su valiosa oferta ambiental y cultural, Gorgona se constituye en un sitio ideal para actividades de investigación, ecoturismo y educación ambiental, además el área cumple un papel importante en la dinámica económica regional, al aportar a la sostenibilidad de los recursos pesqueros, por cuanto provee sitios de reproducción, alevinaje, alimentación y protección de especies de peces comerciales (Uaesppn, 2005a).

En el Parque se conocen mejor las comunidades de corales pétreos (Orden Scleractinia o Madreporaria) en comparación con los octocorales o corales blandos

(subclase Octocorallia o Alcyonaria). De estos últimos se sabe que existen al menos cuatro géneros en el Parque (*Lobogorgia*, *Pacifigorgia*, *Muricea* y *Telesto*), formando densas comunidades en zonas rocosas sumergidas con acción fuerte y continua del oleaje, como las Montañitas 1, 2 y 3 (Díaz *et al.*, 2001). Ardila *et al.*, 2008, reportaron 16 especies de octocorales con una mayor dominancia de *Pacifigorgia spp.* (10 especies), *Leptogorgia spp.* (dos especies) y el resto de géneros con una sola especie como *Eugorgia sp.*, *Muricea sp.*, *Heterogorgia verrucosa* y *Carijoa riisei*. Las densidades de octocorales fluctuaron entre 2 y 30 colonias m⁻², siendo Montañita 2 y Juanchincho los lugares con mayores diversidades y densidades.

En las formaciones coralinas se encuentran 21 especies de corales escleractíneos zooxantelados de las 49 registradas para el Pacífico Oriental Tropical (POT), siendo las más abundantes *Pocillopora damicornis*, *P. elegans*, *Psammocora stellata* y *Pavona varians* (Zapata, 2001a). Estas formaciones se encuentran principalmente en el costado Este (El Horno, El Remanso, Yundigua, Playa Pizarro, La Azufrada, Playa Blanca, La Gómez y La Ventana), con excepción de La Camaronera localizada en el costado Oeste, además de algunas formaciones incipientes localizadas al sur de Gorgona en el Paso de Tasca y el norte de Gorgonilla (Los Farallones). Se destacan por su tamaño y estructura, La Azufrada (11,2 ha) y Playa Blanca (en dos parches de 9,9 ha y 0,96 ha), las cuales se consideran verdaderos arrecifes del tipo frangeante o de borde. Palacios *et al.*, 2008, registró 13 especies de corales hermatípicos, cinco de ellos pertenecientes al género *Pavona*, cuatro a *Pocillopora*, dos a *Psammocora* y una a *Gardineroseris* y *Porites*, encontrando además corales ahermatípicos pertenecientes al género *Tubastrea*. La especie más abundante fue *Pocillopora capitata*, seguida de *Pavona clavus* y *Pocillopora damicornis*. También fueron comunes *Pocillopora elegans*, *Pavona chiriquiensis*, *Porites lobata* y *Pocillopora eydouxi*.

Se presenta una diversidad de peces relativamente alta en comparación con otras localidades del Pacífico colombiano y del POT; esto está en relación con la variedad de hábitats debido a la abundancia de sustratos blandos y rocosos, la presencia de formaciones coralinas y a la confluencia de ambientes costeros y oceánicos. Se han registrado 381 especies de peces marinos pertenecientes a 13 familias de peces cartilaginosos y 89 familias de peces óseos. Del grupo de peces pelágicos se han registrado 44 especies en 17 familias, entre ellas algunas de gran tamaño e interés para la pesca comercial y recreativa y para el turismo subacuático: tiburón ballena (*Rinchodon typus*), cachuda, (*Sphyrna lewini*)

dorado (*Coryphaena hippurus*) las sierras y atunes; el pez vela (*Istiophorus platypterus*) y el marlin rayado (*Tretapturus audax*) entre otros (Acero & Franke, 2001). Los peces demersales agrupan las especies vinculadas en alguno de sus procesos biológicos a los fondos marinos, algunas de importancia para la pesca artesanal como la raya bagra, *Dasyatis longus*; los toyo látigo, *Mustelus spp.*; los pargos, Lutjanidae; las chernas, Serranidae; y las merluzas, Ophidiidae, entre otras; además especies de interés recreativo para la observación y la fotografía submarina como el tiburón aletinegro, *Carcharhinus limbatus*; el mero guasa, *Epinephelus itajara*; y las morenas, Muraenidae (Uaespn, 2008).

De los peces arrecifales: en el área se encuentran representantes en siete de las ocho familias incluidas por Choat & Belwood (1991) en las tres principales líneas evolutivas de peces arrecifales (chaetodontoideos, acanthuroideos y labroideos). De las 47 familias de peces óseos presentes en zonas arrecifales del mundo (Thresher, 1991), 38 familias (81 %) se encuentran en Gorgona con 162 especies, equivalentes al 48 % de las especies de peces registradas en Gorgona. Las familias mejor representadas son Serranidae (19 spp.), Labridae (12 spp.) y Lutjanidae (10 spp.); entre las familias típicas de arrecifes siguen en riqueza a los labridos, los pomacéntridos (8 spp.), acanthúridos (5 spp.), scáridos (4 spp.), chaetodóntidos (2 spp.) y pomacánthidos (2 spp.) (Zapata, 2001b). Las familias con mayor número de individuos en los arrecifes coralinos son: Pomacentridae, Labridae, Cirrhitidae y Lutjanidae (Uaespn, 2008). Alzate *et al.*, 2008, registró en total 15.439 individuos pertenecientes a 104 especies y a 36 familias de peces en zonas arrecifales rocosas y coralinas de Gorgona.

En Gorgona se han registrado 11 especies de cetáceos en las familias Balaenopteridae (ballenas), Physeteridae (cachalotes) y Delphinidae (orcas, calderones y delfines) y cuatro especies de pinnípedos (leones marinos, Otariidae); de estas, seis especies son exclusivamente oceánicas, dos costeras y siete pueden encontrarse en los dos ambientes. Cuatro especies son frecuentemente observadas en el Parque: la ballena jorobada, *M. novaeangliae*; el delfín nariz de botella, *Tursiops truncatus*; la falsa orca, *Pseudorca crassidens*; y el delfín moteado, *Stenella attenuata*, este último con una población local en el área. Gorgona es una de las localidades más importantes para la conservación e investigación de ballenas jorobadas en el POT, recibiendo en el segundo semestre del año unos 900 individuos provenientes de la península Antártica (Flórez-González & Capella, 2001).

Se han registrado las cinco especies de tortugas marinas presentes en el Pacífico americano: la caguama

(*Caretta caretta*), la negra (*Chelonia agassizii*), la golfina (*Lepidochelys olivácea*), la carey (*Eretmochelys imbricata*) y la baula (*Dermochelys coriacea*). El Parque es un sitio importante de apareamiento y desove de la caguama, además de ofrecer recursos importantes como zona de alimentación y desarrollo de la tortuga negra (Amorocho *et al.*, 2001).

En cuanto al área terrestre la cobertura vegetal puede diferenciarse en vegetación intervenida y vegetación natural. La primera resulta de la intervención durante la época del penal y en menor medida por claros formados por la caída de árboles y derrumbes en zonas pendientes. En esta se distinguen zonas de cultivos cerca de la playa en ambos costados de Gorgona, con cultivos de coco (*Cocos nucifera*), limoncillo (*Citrus medica*) y árboles frutales como guayabos (*Psidium guajaba*), y aguacate (*Persea americana*), vegetación secundaria por claros con dominancia de sangre gallo (*Vismia baccifera*), yarumo (*Cecropia garciae*) pácora (*Cespedecia macrophylla*) en el estrato arbóreo; y mora (*Triolena spicata*, *Tara spp.*), palo tunda (*Tetrorchidium gorgonae* y *Wedelia brasiliensis*) en el estrato herbáceo. También se encuentran comunidades de plantas pioneras sobre las playas, compuestas por *Canavalia maritima* y *Vigna peduncularis*. Además, en el camino al Alto de los Micos son característicos los matorrales densos de *Clidemia capitellata var. dependes* (Uaespn, 2008).

En la vegetación natural se ha observado la diferenciación en dos estratos arbóreos, lo que ha permitido catalogarla como de tipo “selvática”. Aunque aparentemente existe una homogeneidad florística en la vegetación de la isla, esta se agrupa en tres asociaciones y dos comunidades. Las asociaciones son: *Ossaeo sessilifoliae-Anaxagoretum phaeocarpae*, *Malpighio glabrae-Cespedesietum macrophyllae* y *Cassipoureo ellipticae - Ryanetum speciosae*. Las comunidades son *Perebea xanthochyma - Cosmibuena macrocarpa* y *Symphonia globulifera-Hyeronima oblonga-Terminalia amazonia* (Uaespn, 2008).

En cuanto a los vertebrados terrestres se conocen nueve especies de anfibios entre cecilias también llamadas ciegas o tatacoas (familia Caeciliidae), salamandras (Plethodontidae), sapos (Bufonidae), y ranas (Dendrobatidae y Leptodactylidae). También se encuentran 41 especies de reptiles, entre ellos la babilla (*Caiman sclerops chiapasius*) y representantes del género *Anolis* con seis especies, entre ellos el endémico *Anolis gorgonae*, iguanas (*Iguana iguana*), lagarto jesucristo (*Basiliscus galeritus*), lagarto lobo (*Enyalioides heterolepis*); así como otros saurios en las familias Gekkonidae (cinco especies), Teiidae (dos

especies) y Gymnophthalmidae (dos especies). Entre las serpientes están la marina (*Pelamis platurus*) y dos especies de corales (*Elapidae*), diez de cazadoras entre ellas: la chonta (*Clelia clelia*), la boa (*Boa constrictor*) y la equis (*Bothrops atrox*). También se encuentran las tortugas *Kinosternon leucostomum* y *Pseudemis scripta* (Uaespn, 2008).

El grupo de aves está representado por 154 especies en 43 familias, de las cuales 13 son residentes (8,4 %), nueve son terrestres y cuatro son marinas (Ortiz, 1990). Entre las residentes están el águila cangrejera (*Buteogallus anthracinus*), el chamón (*Crotophaga sulcirostris*), los colibríes (*Florisuga mellivora* y *Amazilia tzacatl*), el hormiguero (*Thamnophilus punctatus gorgonae*), el atrapamoscas (*Tyrannus melancholicus*), los mieleros (*Coereba flaveola gorgonae* y *Cyanerpes cyaneus gigas*) y el Azulejo (*Tangara Lavinia*). Entre las marinas están el pelicano pardo (*Pelecanus occidentalis murphy*), el piquero patiazul (*Sula neboxii*), el piquero café (*S. leucogaster etesiaca*) y la fragata común (*Fregata magnificens*). Las demás especies registradas son en su mayoría migratorias (77 especies, 50 %) y accidentales (64 especies, 41,6 %) (Uaespn, 2008).

Los mamíferos terrestres están representados por 14 especies de murciélagos, destacándose *Saccopteryx bilineata* por su actividad diurna (Cadena, 1990), la subespecie endémica de rata espinosa (*Proechimys semispinosus gorgonae*), el mono cariblanco (*Cebus capuccinus curtus*), el perezoso de tres dedos (*Bradypus variegatus*). También existen dos especies invasoras, la rata común *Rattus rattus* y el ratón casero *Mus musculus* (Uaespn, 2008).

2.5.1.6.3 Parque Nacional Natural Sanquianga (PNN Sanquianga)

El Parque Nacional Natural se encuentra en la parte costera noroccidental del departamento de Nariño. Limita al norte con el océano Pacífico; al sur con los municipios de La Tola, El Charco y Bocas de Satinga, cabecera municipal de Olaya Herrera; al oriente con el municipio de Santa Bárbara de Iscuandé y al occidente con el municipio de Mosquera. Esta área natural tiene 80.000 ha y gran parte de su territorio está constituido por bosques de manglar (aproximadamente el 20 % de los manglares del Pacífico colombiano), catalogados como sistemas de alta productividad por los aportes en nutrientes y energía para los demás ecosistemas y como verdaderos viveros del mar (Uaespn, 2005).

En el PNN Sanquianga hay inventariadas más de 200 especies marinas, 21 especies de río, 22 especies de moluscos, 33 especies de crustáceos, seis especies de

mamíferos marinos, treinta especies de mamíferos terrestres, ocho especies de reptiles, 13 de culebras o serpientes, cuatro de tortugas terrestres, cinco de tortugas marinas, 60 especies de aves, de las cuales 14 son migratorias; 57 especies de árboles maderables, 13 especies de palma, 43 especies de árboles frutales, 33 especies de plantas alimenticias, 70 de plantas medicinales, veinte de plantas ornamentales y 25 de bejucos (Uaesppn, 2005).

2.5.1.6.4 Parque Nacional Natural Uramba Bahía Málaga (PNN Bahía Málaga)

El Parque Nacional Natural Uramba Bahía Málaga tiene una extensión de 47.094 hectáreas ubicadas en la porción media de la costa Pacífica colombiana, en jurisdicción del municipio de Buenaventura. Uramba Bahía Málaga, alberga una inmensa diversidad de especies de fauna y flora, continental y marina, que la inscribe como parte de los “Hot Spots” (sitio de alta concentración de biodiversidad amenazada) de la conservación de naturaleza a escala planetaria. Es reconocida mundialmente por ser uno de los sitios de destino de la migración estacional de poblaciones de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), la cual arriba a sus aguas para la cría de sus ballenatos y con fines reproductivos. Por otra parte, a la entrada de la Bahía se encuentra isla Palma, sitio de importancia por la presencia de colonias reproductivas de aves marinas.

Además de la ballena Jorobada, se encuentran algunas especies que están amenazadas a nivel global y nacional, entre ellas ciertos bivalvos como la piangua (*Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*), gastrópodos como los caracoles (*Strombus galeatus*), crustáceos como los camarones y peces como los caballitos de mar (*Hippocampus ingens*).

El estudio “Valoración de la biodiversidad marina y costera de Bahía Málaga (Valle del Cauca), como uno de los instrumentos necesarios para que sea considerada un área protegida”, reporta 1.396 especies en nueve grupos de animales y vegetales, plantas vasculares (300), moluscos (254), peces marinos y/o estuarinos (240), crustáceos (237), aves (107), poliquetos (68), algas (37), equinodermos (28), mamíferos costeros (30), esponjas (18), cnidarios (18), mamíferos acuáticos (12) y otros grupos menores de animales marinos (6). Otros grupos de animales costeros también fueron reportados, tales como: peces dulceacuícolas (14), reptiles (17), anfibios (10) y algunos individuos de hongos e insectos (Invemar *et al.*, 2006). Cabe destacar en esta gran diversidad, la presencia de octocorales en la parte central de la bahía que presenta fondo rocoso, con pocas acumulaciones de sedimentos. Las especies más comunes son *Leptogorgia*

alba y *Pacifigorgia eximia*, aunque se encuentran otras como *Heterogorgia verrucosa*, sobre la cual fueron recolectados los especímenes de *Phenacovolva brevisrostris*, en profundidades entre 5 y 25 m (Saavedra & Zapata, 1992).

Dentro de esta riqueza, adquiere especial importancia para el área protegida la ballena Jorobada (*M. novaeangliae*). Bahía Málaga se destaca por la importancia y representatividad en cuanto a ser zona de crianza de ballenatos, entre los sitios de concentración reproductiva de la especie en el Pacífico de Colombia. Sus aguas costeras son someras y cálidas, condiciones requeridas principalmente por las madres con sus crías. Por ser un área reproductiva, las ballenas llevan a cabo en este sitio actividades fundamentales en su ciclo de vida: apareamiento, parto, lactancia y crianza, reposo y socialización (Ávila, 2000). *M. novaeangliae* se encuentra considerada en categorías de amenaza, apéndice I del Convenio Cites que limita su comercio internacional y categoría vulnerable de la lista roja de especies de la UICN, según criterio A1ad, que implica reducciones actuales o potenciales de las poblaciones por su utilización. Como complemento, Colombia ratificó la Comisión Ballenera Internacional (CBI), mecanismo multilateral encaminado a conservar las poblaciones de ballenas y a lograr su utilización sostenible. Ello implica acciones encaminadas a la protección de especies en peligro, la declaración de áreas protegidas específicas para la protección de ballenas o la adopción de medidas de ordenamiento de la actividad pesquera (Uaesppn, 2009).

Finalmente, se han determinado para la zona marina algunas especies amenazadas localmente, categorización basada en información secundaria y datos obtenidos dentro del proyecto Valoración de la biodiversidad marino-costera de Bahía Málaga (Invemar *et al.*, 2006). Los grupos y especies definidas como amenazadas localmente son crustáceos: *Cardisoma crassum*, *Panulirus gracilis*, *Pilumnus nobilii*, *Pinnotheres malaguena*, *Alpheus colombiensis*, *Alpheus wickstenae*, *Hypolobocera malaguena* y *Synalpheus arostris*; moluscos: *Melongena patula*, *Pinctada mazatlanica*, *Strombus galeatus* y *S. peruvianus*; cnidarios: *Leptogorgia alba*, *Leptogorgia ramulus*, *Pacifigorgia agassizii*, *P. eximia*, *Muricea robusta* y *M. squarrosae* (Uaesppn, 2009).

2.5.1.6.5. Santuario de Flora y Fauna Malpelo (SFF Malpelo)

El santuario de fauna y flora de Malpelo está ubicado en la posición más occidental de Colombia sobre la dorsal de Malpelo, a 506 Km al oeste de Buenaventura

departamento del Valle del Cauca. En el año 2002 fue declarado por la Organización Marítima Internacional (OMI) como Zona Especialmente Sensible y en el año 2006 como Patrimonio de la Humanidad por la Unesco. El Santuario protege ecosistemas importantes como formaciones coralinas y litoral rocoso, así como 12 especies endémicas (reptiles, equinodermos, peces y artrópodos) y 27 en categorías de amenaza según la IUCN (International Union for Conservation of Nature). Actualmente, hace parte de la estrategia de Corredor Marino del Pacífico Este Tropical (CMAR) (CPPS, 2009).

Este santuario de fauna y flora comprende la Isla de Malpelo (350 ha) y la zona marítima circundante (857.150 ha). Su vasto parque marino, que es la zona de pesca prohibida más extensa de toda la zona tropical del Pacífico oriental, constituye un hábitat de importancia vital para toda una serie de especies marinas en peligro de extinción a nivel mundial. Asimismo, es una importante fuente de nutrientes y, por lo tanto, una zona de gran acumulación de biodiversidad marina. La isla de Malpelo es, en particular, un santuario para meros gigantes, peces voladores y especies raras de tiburones. Su costa está considerada como uno de los más extraordinarios sitios del mundo para el buceo, debido a la excepcional belleza de sus abruptos acantilados y grutas. Además, sus aguas profundas sirven de refugio a un número considerable de especies pelágicas y grandes depredadores marinos, cuyo comportamiento natural permanece inalterado en este medio ambiente protegido.

El cangrejo terrestre (*Gecarcinus malpilisensis*), la lagartija de Malpelo (*Anolis agassizi*), el lagarto punteado (*Diploglossus millepunctatus*) y el gecko (*Phyllodactylus transversalis*) son especies endémicas. En Malpelo está la colonia de anidación de aves marinas más grande de Colombia, con una población total cercana a los 80.000 individuos. Se han reportado unas 60 especies de aves, tales como el alcastraz de Nazca (*Sula granti*), el piquero enmascarado, el piquero patirrojo, las tiñosas común y negra, el gaviotín níveo (*Larus atricilla*), la fragata rabihorcada (*Fregata magnificens*) y la gaviota de las Galápagos (*Creagrurus furcatus*).

En cuanto a fauna marina se han encontrado 17 especies de coral, unas 130 de moluscos, 267 de crustáceos y 395 de peces, entre los que se destacan *Acanthemblemaria stephensi*, *Chriolepis lepidotus*, *Halichoeres malpelo*, *Axoclinus rubinoffi* y *Lepidonectes bimaculta*, por ser especies endémicas (Allen & Robertson, 1992a;b).

Se han reportado grandes concentraciones de tiburones, entre ellos el tiburón martillo (*Sphyrna mokarran*) y

ballena (*Rhincodon typus*), así como el tiburón de las profundidades (*Odontaspis ferox*). También se han encontrado estrellas de mar, peces de arrecife rocoso y coralino, y mamíferos marinos (Uaespmn, 2009).

2.5.1.7 Comunidad Planctónica

2.5.1.7.1 Componente Fitoplanctónico

El fitoplancton cobra especial importancia porque es el principal productor primario del ambiente marino, siendo superado solo en muy pocos ambientes por macroalgas y bacterias fotosintéticas. Además, por su lugar base en el ecosistema marino, el fitoplancton sirve directa o indirectamente, de alimento para organismos de nivel trófico superior (Jiménez & Pesantes, 1978). La distribución y abundancia de especies o grupos de especies de fitoplancton puede ser utilizada para identificar masas de agua (Castillo & Vidal, 1982), caracterizar zonas del océano o servir como indicadores de condiciones ambientales como en el caso de fenómenos ENSO (Castillo & Vizcaíno, 1993).

El Cccp inició en el año 1997 estudios tendientes a evaluar cambios en esta comunidad y su relación con las variables fisicoquímicas ante eventos ENOS y condiciones normales, con el fin de establecer indicadores biológicos. Es así como durante eventos ENOS se observaron cambios en la composición de diatomeas y dinoflagelados en la bahía de Tumaco, evidenciando un incremento en el primer grupo durante eventos fríos (La Niña) y un descenso en el mismo ante eventos cálidos (El Niño), comportamiento opuesto al presentado por los dinoflagelados (García Hansen, 2001; García Hansen & Málikov, 2003).

En el marco del proyecto ERFEN, los estudios de seguimiento a diferentes estaciones de muestreo distribuidas a lo largo del Pacífico colombiano han permitido evaluar la relación entre la composición fitoplanctónica y variables físico-químicas (Castillo & Vizcaíno, 1993; Medina Campos, 1997; 1998; Ramírez-Roa & Giraldo, 2006; Rojas Higuera & Ortiz, 2007; Arteaga *et al.*, 2008), registrándose cambios en la composición de la comunidad con la aparición de especies nuevas para esta área durante eventos El Niño y La Niña (Medina Campos, 1998; Rojas Higuera & Ortiz, 2007).

Para la ensenada de Tumaco se han descrito 180 especies de diatomeas y 80 de dinoflagelados (Medina, 1997). Los registros obtenidos en los diversos estudios realizados para la zona varían de acuerdo con las condiciones meteorológicas presentadas.

A continuación se relacionan las especies fitoplanctónicas reportadas para el Pacífico colombiano (Tabla 2.2) y la bahía de Tumaco (Tabla 2.3).

Tabla 2.2. Listado taxonómico de diatomeas, dinoflagelados y otros grupos reportados para el Pacífico colombiano.

| | | |
|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| <i>Actinoptychus spp.</i> | <i>Planktoniella spp.</i> | <i>Alexandrium spp.</i> |
| <i>Amphora spp.</i> | <i>Pleurosigma spp.</i> | <i>Ceratium spp.</i> |
| <i>Asterionellopsis spp.</i> | <i>Proboscia spp.</i> | <i>Histioneis spp.</i> |
| <i>Asteromphalus spp.</i> | <i>Pseudo-nitzschia spp.</i> | <i>Kofooidinium spp.</i> |
| <i>Azpeitia spp.</i> | <i>Pseudosolenia spp.</i> | <i>Noctiluca spp.</i> |
| <i>Bacteriastrum spp.</i> | <i>Rhizosolenia spp.</i> | <i>Ornithocercus spp.</i> |
| <i>Cerataulina spp.</i> | <i>Skeletonema costatum</i> | <i>Oxytoxum spp.</i> |
| <i>Chaetoceros spp.</i> | <i>Stephanopyxis spp.</i> | <i>Podolampas spp.</i> |
| <i>Climacodium spp.</i> | <i>Thalassionema spp.</i> | <i>Pronoclituca spp.</i> |
| <i>Corethron spp.</i> | <i>Thalassiosira spp.</i> | <i>Prorocentrum spp.</i> |
| <i>Coscinodiscus spp.</i> | <i>Thalassiothrix spp.</i> | <i>Protoperidinium spp.</i> |
| <i>Cyclotella spp.</i> | <i>Haslea spp.</i> | <i>Pyrocystis spp.</i> |
| <i>Cylindrotheca spp.</i> | <i>Helicotheca</i> | <i>Pyrophacus spp.</i> |
| <i>Dactyliosolen spp.</i> | <i>Hemiaulus spp.</i> | <i>Scrippsiella spp.</i> |
| <i>Detonula spp.</i> | <i>Hemidiscus spp.</i> | <i>Torodinium spp.</i> |
| <i>Diploneis spp.</i> | <i>Lauderia spp.</i> | <i>Ceratocorys spp.</i> |
| <i>Ditylum spp.</i> | <i>Leptocylindrus spp.</i> | <i>Cochlodinium spp.</i> |
| <i>Eucampia spp.</i> | <i>Licmophora spp.</i> | <i>Corythodinium spp.</i> |
| <i>Fragilariopsis spp.</i> | <i>Lioloma spp.</i> | <i>Dinophysis spp.</i> |
| <i>Grammatophora spp.</i> | <i>Lithodesmium spp.</i> | <i>Goniodoma spp.</i> |
| <i>Gossleriella spp.</i> | <i>Melosira spp.</i> | <i>Gonyaulax spp.</i> |
| <i>Guinardia spp.</i> | <i>Meuniera spp.</i> | <i>Gymnodinium spp.</i> |
| <i>Gyrosigma spp.</i> | <i>Navicula spp.</i> | <i>Gyrodinium spp.</i> |
| <i>Nitzschia spp.</i> | <i>Neocalyptrella spp.</i> | <i>Triceratium spp.</i> |
| <i>Odontella spp.</i> | <i>Asterodinium spp.</i> | <i>Amphisolenia spp.</i> |

Tabla 2.3 Listado taxonómico de diatomeas, dinoflagelados y otros grupos reportados para la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano.

| | | |
|------------------------------------|---|--|
| <i>Bacteriastrum furcatum</i> | <i>Nitzschia longissima</i> | <i>Thalassiotrix nitzschiioides</i> |
| <i>Bacteriastrum hyalinum</i> | <i>Odontella spp.</i> | <i>Alexandrium spp.</i> |
| <i>Chaetoceros affinis</i> | <i>Odontella mobilensis</i> | <i>Amphisolenia spp.</i> |
| <i>Chaetoceros coarctatus</i> | <i>Odontella sinensis</i> | <i>Ceratium candelabrum var. depressum</i> |
| <i>Chaetoceros danicus</i> | <i>Paralia spp.</i> | <i>Ceratium delicatum</i> |
| <i>Chaetoceros laevis</i> | <i>Peridinium spp.</i> | <i>Ceratium fusus</i> |
| <i>Chaetoceros peruvians</i> | <i>Pleurosigma spp.</i> | <i>Ceratium furca</i> |
| <i>Chaetoceros radicans</i> | <i>Pseudonitzschia spp.</i> | <i>Ceratium inflatum</i> |
| <i>Chaetoceros spp.</i> | <i>Rhizosolenia spp.</i> | <i>Ceratium macroceros</i> |
| <i>Climacodium spp.</i> | <i>Rhizosolenia alata</i> | <i>Ceratium tricocheros</i> |
| <i>Coscinodiscus spp.</i> | <i>Rhizosolenia alata var. Curvirostris</i> | <i>Ceratium tripos</i> |
| <i>Coscinodiscus granni</i> | <i>Rhizosolenia calcar avis</i> | <i>Dinophysis caudata</i> |
| <i>Coscinodiscus wailessi</i> | <i>Rhizosolenia cf. Imbricata</i> | <i>Leptocylindricus danicus</i> |
| <i>Dactyliosolen fragilissimus</i> | <i>Rhizosolenia imbricata var. strusbosolei</i> | <i>Lioloma pacificum</i> |
| <i>Ditylum brightwellii</i> | <i>Rhizosolenia pungens</i> | <i>Ornithocercus spp.</i> |
| <i>Ephemera planamembranacea</i> | <i>Rhizosolenia setigera</i> | <i>Pediastrum spp.</i> |
| <i>Eucampia spp.</i> | <i>Rhizosolenia cf. Styliformis</i> | <i>Protoperidinium spp.</i> |
| <i>Gossleriella tropica</i> | <i>Rhizosolenia styliformis</i> | <i>Dinophysis caudata</i> |
| <i>Guinardia flaccida</i> | <i>Rhizosolenia stolterforthu</i> | <i>Pyrocystis lunula</i> |
| <i>Hemiaulus hauckii</i> | <i>Skeletonema costatum</i> | <i>Anabaena sp</i> |
| <i>Lithodesmium undulatum</i> | <i>Stephanopyxis spp.</i> | <i>Arthrospira sp</i> |
| <i>Melosira cf. spaerica</i> | <i>Stephanopyxis palmeriana</i> | <i>Merismopedia glauca</i> |
| <i>Navicula spp.</i> | <i>Stephanopyxis turris</i> | <i>Oscillatoria sp</i> |
| <i>Navicula cf. Granii</i> | <i>Thalassionema spp.</i> | <i>Dictyocha fibula</i> |

Tabla 2.4. Listado taxonómico de los grupos zooplanctónicos reportados para el Pacífico colombiano.

| | |
|---------------|-------------------|
| Anfípodos | Larva Pez |
| Apendicularia | Larva Pluteus |
| Bivalvos | Medusa |
| Bryozoos | Megalopas |
| Cefalópodos | Misidáceos |
| Cladóceros | Ostrácodos |
| Copépodos | Platelmintos |
| Ctenóforos | Poliquetos |
| Estomatópodos | Pterópodos |
| Eufáusidos | Quetognatos |
| Foraminíferos | Salpas |
| Gasterópodos | Doliólos |
| Hemiptera | Sifonóforos |
| Heterópodos | Urocordado |
| Huevo Pez | Zoea Anomuros |
| Hydrozoos | Zoea Brachiuros |
| Isópodos | Zoea Porcelánidos |

Tabla 2.5. Listado taxonómico del Ictioplancton reportado en la corriente de Colombia.

| FAMILIA | ESPECIE | FAMILIA | ESPECIE |
|-----------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Ophichthidae | <i>Myrophis vafer</i> | Tetradontidae | <i>Sphoeroides lobatus</i> |
| | <i>Ophichthus zophochir</i> | Bregmacerotidae | <i>Bregmaceros bathymaster</i> |
| Congridae | <i>Chiloconger cf. similis</i> | | <i>Bregmaceros sp.</i> |
| Derichthyidae | <i>Derichthys serpentinus</i> | Melamphidae | <i>Melamphaes sp.</i> |
| Engraulidae | <i>Centengraulis mysticetus</i> | Sygnathidae | <i>Doryrhamphus exius</i> |
| | <i>Anchoa spp.</i> | Scorpaenidae | <i>Pontinus spp.</i> |
| Clupeidae | <i>Opistonema spp.</i> | Fistularidae | <i>Fistularia commersonii</i> |
| | <i>Anchovia spp.</i> | | <i>Fistularia corneta</i> |
| Bathylagidae | <i>Bathylagus urotronus</i> | Serranidae | <i>Hermantias signifer</i> |
| | <i>Leuroglossus utrotronus</i> | | <i>Parantias colunus</i> |
| | <i>Bathylagus nigrigenys</i> | | <i>Paralabrax spp.</i> |
| Gonostomatidae | <i>Cyclothone signata</i> | Carangidae | <i>Serranus spp.</i> |
| | <i>Gonostoma elongatum</i> | | <i>Alectis ciliaris</i> |
| Gobiidae | <i>Gobiidae spp.</i> | Paralichthyidae | <i>Selene peruviana</i> |
| | <i>Lythrypnus spp.</i> | | <i>Caranx caballus</i> |
| | <i>Ilypnus gilberti</i> | Gerridae | <i>Citharichthys gilberti</i> |
| Sternoptychidae | <i>Sternoptyx diaphaena</i> | Myctophidae | <i>Citharichthys spp.</i> |
| | <i>Sternoptychidae sp.</i> | | <i>Eucinostomus spp.</i> |
| Photichthyidae | <i>Vinciguerria lucetia</i> | Myctophidae | <i>Diogenichthys laternatus</i> |
| Stomiidae | <i>Idiacanthus anstrostromus</i> | | <i>Myctophum sp.</i> |
| Scoperlachidae | <i>Scopelarchoides nicholsi</i> | | <i>Benthoosema panamense</i> |
| Synodontidae | <i>Synodus evermanni</i> | | <i>Gonichthys tenuiculus</i> |
| Paralepididae | <i>Lestidiops pacificum</i> | | <i>Diaphus pacificus</i> |
| | <i>Lestidiops neles</i> | <i>Lampanyctus parvicauda</i> | |
| Sciaenidae | <i>Larimus spp.</i> | Pomacentridae | <i>Triphoturus oculum</i> |
| | <i>Cynoscion sp 1.</i> | | <i>Hypsypops spp.</i> |
| | <i>Cynoscion sp 2.</i> | | <i>Symphurus spp.</i> |
| Lutjanidae | <i>Sciaenidae spp.</i> | Cynoglossidae | <i>Symphurus melanurus</i> |
| | <i>Lutjanus guttatus</i> | | <i>Symphurus oligomerus</i> |
| Trichiuridae | <i>Trichiurus nitens</i> | Sphyracidae | <i>Sphyracna ensis</i> |
| | <i>Lepidopus fitchi</i> | Ophidiidae | <i>Ophidion sp.</i> |
| Scombridae | <i>Auxis sp 1.</i> | Nomeidae | <i>Cubiceps spp.</i> |
| | <i>Auxis sp 2.</i> | | <i>Cubiceps pauciradiatus</i> |
| Lobotidae | <i>Lobotes spp.</i> | | |

Fuente: Martínez-Aguilar *et al.*, 2010.

2.5.1.7.2 Componente Zooplanctónico

El zooplancton juega un papel muy importante en el medio marino ya que sirve como fuente de alimento para muchas especies, además de que son utilizados como indicadores biológicos. Para la zona del Pacífico colombiano se han realizado estudios a nivel específico como el trabajo de Mauna (1994) con Chaetognathos y tunicados, reportando valores de biomasa zooplanctónica entre 9 mg/1.000 m³ a 57 mg/1.000 m³ para octubre de 1991 y entre 69 mg/1.000 m³ a 430 mg/1.000 m³ para octubre de 1992. En cuanto a la composición, biomasa, distribución espacial y la relación con el ambiente físico, químico y biológico del zooplancton en la CPC, se encontró que integrantes del holoplancton como copépodos se destacaron por su abundancia relativa (Gutiérrez, 2004; Martínez *et al.*, 2007; Murcia & Giraldo 2007).

Para la ensenada de Tumaco la composición del zooplancton presentó un total de 21 grupos, siendo los Copépodos los más abundantes (75,49 %), seguidos de las larvas de Crustáceos (7,94 %), larvas de Bivalvos (6,5 %), Pterópoda (3,44 %), Chaetognathos (3,06 %) y otros (3,54 %); así mismo, se evidenció una variabilidad espaciotemporal de esta comunidad en la Ensenada (Patiño, 1999); la dominancia del grupo de los copépodos también fue reportada por Velasco (2009).

Con respecto al ictioplancton, Escarria *et al.*, 2006, determinaron la composición, distribución y abundancia del ictioplancton superficial en la CPC, encontrando 19 especies pertenecientes a 18 familias, en su mayoría de interés para la pesca, siendo las familias más abundantes Photichthyidea (179 larvas/1.000 m³) y Hemiramphidae (106 larvas/1.000 m³). Para este mismo grupo de organismos Martínez-Aguilar *et al.*, 2010, determinaron la composición taxonómica, estructura comunitaria en la región costera del Pacífico colombiano, encontrando 533 larvas pertenecientes a 87 especies de 37 familias, de las cuales las más destacadas fueron las familias Myctophidae (26 %) y Bregmacerotidae (17 %).

A continuación se relacionan los grupos zooplanctónicos reportados para el Pacífico colombiano (Tabla 2.4), el listado de familias y especies ictioplanctónicas reportadas para la corriente de Colombia (Tabla 2.5) y el registro taxonómico del ictioplancton superficial reportado para la CPC (Tabla 2.6).

Tabla 2.6 Registro taxonómico del ictioplancton superficial reportado para la cuenca del Pacífico colombiano.

| FAMILIA | ESPECIE |
|-----------------|---------------------------------|
| Hemiramphidae | <i>Hyporhamphus spp.</i> |
| | <i>Oxyporhamphus spp.</i> |
| Photichthyidae | <i>Vinciguerria lucetia</i> |
| Gonostomatidae | <i>Cyclothone acclinidens</i> |
| Engraulidae | <i>Cetengraulis mysticetus</i> |
| Myctophidae | <i>Diogenichthys laternatus</i> |
| | <i>Myctophum aurolaterdatum</i> |
| | <i>Lampanyctus spp.</i> |
| | <i>Gonichtys spp.</i> |
| Mugilidae | <i>Mugil cephalus</i> |
| Carangidae | <i>Chloroscombrus orqueta</i> |
| | <i>Caranx spp.</i> |
| | <i>C. caballus</i> |
| | <i>Decapterus spp.</i> |
| Scombridae | |
| Pomacentridae | |
| Gobiidae | |
| Paralichthyidae | <i>Citharichthys platophrys</i> |
| Cynoglossidae | <i>Symphurus spp.</i> |
| Coryphaenidae | <i>Coryphaena hippurus</i> |

Fuente: Escarria *et al.*, 2006.

2.6 ORGANISMOS BIOINDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN EN EL PACÍFICO COLOMBIANO

Las causas principales de perturbación ambiental en ambientes acuáticos incluyen la temperatura elevada, el pH elevado o reducido, condiciones de hipoxia y anoxia, sustancias tóxicas, hidrocarburos y materia orgánica.

Los cambios en los parámetros físico-químicos en un ambiente acuático afectan la estructura y función de las comunidades florísticas y faunísticas del bentos, resultando en una composición comunitaria diferente de la normal. De aquí surgen las especies indicadoras, indicadores biológicos o bioindicadores (Raz-Guzmán, 2000).

Se considera que un organismo es un indicador de calidad de agua, cuando este se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat (Roldán Pérez, 1999).

Para el Pacífico colombiano se pueden considerar, y en algunos casos se han catalogado como especies bioindicadoras, organismos de los siguientes grupos:

Tabla 2.7 Floraciones reportadas para el Pacífico colombiano.

| Fecha | Localización | Especie y consecuencias | Referencia |
|---------------|--|---|-----------------------------|
| Año 1976 | Desde Cabo Corrientes hasta Juradó | Dos especies pertenecientes a los géneros <i>Ceratium</i> y <i>Peridinium</i> . Muerte de peces y especies bentónicas | Maldonado, 1978 |
| Marzo de 2001 | Frente a la ensenada de Tumaco | <i>Alexandrium tamarense</i> . Floración que no presentó características nocivas. | García <i>et al.</i> , 2004 |
| Marzo de 2002 | Frente a cabo Corrientes | | |
| Año 2004 | Región oceánica (estaciones 75, 77, 79 y 107 del proyecto Erfen Pacífico colombiano) | <i>Planktoniella sol.</i> Sin efectos nocivos. | Ramírez y Giraldo, 2006 |

Fuente: Tomado y modificado de Orjuela Rojas *et al.*, 2010.

2.6.1 ALGAS

Las comunidades de algas responden por lo general a los impactos antropogénicos, como el exceso de nutrientes y sustancias tóxicas, convirtiéndose así en buenos indicadores de cambios en la calidad del agua (Wang & Lewis, 1997). Varias especies de algas viven asociadas a las raíces aéreas de los árboles de mangle rojo o a los pneumatóforos de mangle negro. Las principales especies se distribuyen en dos grupos: Las algas verdes (*Chlorophyceae*) y las algas rojas (*Rhodophyceae*).

Cambios bruscos en el ambiente pueden provocar una floración nociva causando problemas serios en la acuicultura, agricultura, pesca e influir directamente sobre las comunidades naturales y humanas (Orjuela *et al.*, 2010).

Entre las algas rojas la principal especie es la *Bostrychia calliptera* que puede llegar hasta el nivel de la máxima marca alta formando mechones colgantes dispuestos hacia el suelo. Otras especies que habitan en la misma asociación son la *Bostrychia tenella*, *Catenella caespitosa*, *C. impudica* y la *Caloglossa stipitata* (Cantera & Contreras, 1993).

La presencia de estas comunidades de algas que habitan sobre las porciones sumergidas de los manglares (*Bostrychia*, *Caloglossa* y *Catenella*) son indicadoras de condiciones naturales en el ambiente, mientras que su ausencia indica que el ambiente ha sido suficientemente modificado como para eliminarlas del mismo (Pedroche *et al.*, 1995). La *Bostrychia calliptera* es considerada

como sensible a cambios ambientales mientras que la *Bostrychia tenella*, como posible indicadora de ambientes contaminados con materia orgánica (Godínez-Ortega, 2000).

Estas algas cuentan con un amplio ámbito de tolerancia a fluctuaciones en factores como la salinidad, irradianza, temperatura, nutrientes y desecación debido a los ciclos de emersión-inmersión generados por la marea (Peña *et al.*, 1999; Zucarello & Yeates, 2001).

2.6.1.1 Algas Microscópicas Planctónicas

Estos organismos son importantes en el ecosistema ya que como productores primarios son la base de la cadena trófica. En ocasiones, cuando las condiciones ambientales son propicias proliferan generando floraciones (concentraciones por encima de un millón de células por litro), que en algunos casos pueden ser beneficiosas para las pesquerías y acuicultura, pero en determinadas situaciones pueden llegar a causar impactos ambientales negativos, produciendo pérdidas económicas en los mismos sectores y en el turismo, incluso efectos nocivos sobre la salud humana (Hallegraeff *et al.*, 2003).

Son pocos los reportes sobre floraciones algales ocurridas en el Pacífico colombiano (Tabla 2.7). Maldonado (1978), reportó la ocurrencia de una marea roja de dinoflagelados en el año 1976, constituida principalmente por dos especies pertenecientes a los géneros *Ceratium* y *Peridinium*, que dio lugar a muerte de peces y otras especies principalmente bentónicas.

El fenómeno se presentó en el área comprendida desde Cabo Corrientes (5°28' N, 77°34' W) hasta la localidad de Juradó (7°6' N, 77°45' W). La ocurrencia del evento se relacionó con anomalías climáticas, como la permanencia de un verano prolongado en el área, observándose una disminución del 38,41 % entre el volumen total de lluvias en los cuatro primeros meses del año, comparado con el anterior. El régimen de vientos mostró calma en el transcurso de julio-septiembre del año 1976, cuando lo normal es una mayor incidencia de los vientos del sur en la zona. Esta anomalía climática fue observada en todo el Pacífico americano, ya que correspondió al fenómeno El Niño de 1976 (Hernández & Puga, 1995).

En trabajos realizados para determinar especies fitoplanctónicas indicadoras del fenómeno de El Niño en el Pacífico colombiano, se reportan especies potencialmente tóxicas formadoras de mareas rojas. Se han registrado cistos de las especies *Diplopelta parva*, *Gymnodinium catenatum*, *Protoperidinium claudicans*, *P. leonis* y *Polykrikos schwartzii*, resultados que ponen de manifiesto el riesgo de desarrollo de mareas rojas en

la zona y sus efectos nocivos (Tejada, *et al.* 2003). Otras especies potencialmente se presentan en la tabla 2.8.

Posiblemente se han presentado floraciones de algas a lo largo de la costa Pacífica colombiana que no han sido reportadas, debido probablemente al difícil acceso a la zona.

El conocimiento del fitoplancton en el Pacífico colombiano es escaso por lo cual es necesario concentrar esfuerzos en su estudio, dada su gran importancia a nivel ecosistémico y a su respuesta inmediata a cambios en las características físico-químicas en la columna de agua, generados por factores climáticos, influencia antrópica (contaminación) y de procesos oceánicos (surgencias).

Cambios bruscos en el ambiente pueden provocar una floración nociva con serias consecuencias para la acuicultura, la agricultura, la pesca e influir directamente sobre las comunidades naturales y humanas (Orjuela *et al.*, 2010).

Tabla 2.8 Especies registradas en la cuenca del Pacífico colombiano que han sido reportadas como potencialmente tóxicas en otras regiones.

| Fecha | Especie | Referencia |
|---|--|-----------------------------|
| Año 1991 y 1992 | <i>Coscinodiscus concinnus</i> , <i>Ceratium fusus</i> , <i>Dynophysis caudata</i> , <i>Chaetoceros peruvianus</i> , <i>Chaetoceros borealis</i> | Castillo y Vizcaino, 1993 |
| Septiembre y octubre de 2004 | <i>Ceratium fusus</i> , <i>Dynophysis sp.</i> , <i>Gonyaulax sp.</i> | Ramírez y Giraldo, 2006 |
| Noviembre/1994, junio y octubre/1996, Mayo/1997 | <i>Chaetoceros peruvianus</i> , <i>Chaetoceros dictyota</i> , <i>Coscinodiscus concinnus</i> , <i>Ceratium fusus</i> , <i>Gonyaulax spinifera</i> , <i>Prorocentrum micans</i> , <i>Gonyaulax polygramma</i> , <i>Gonyaulax polyedra</i> , <i>Gymnodinium catenatum</i> , <i>Dynophysis acuminata</i> , <i>Dynophysis caudata</i> . | Medina, 1997 |
| Recopilación de información obtenida en 52 cruceros oceanográficos (1970 – 2002) con una cantidad variable de estaciones en la CPC. | <i>Ceratulina pelágica</i> , <i>Chaetoceros aequatorialis</i> , <i>Chaetoceros coarctatus</i> , <i>Chaetoceros debilis</i> , <i>Chaetoceros dictyota</i> , <i>Chaetoceros eibonii</i> , <i>Chaetoceros peruvianus</i> , <i>Chaetoceros tetrastichon</i> , <i>Leptocylindrus minimus</i> , <i>Pseudo-nitzschia pungens</i> , <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> , <i>Pseudo-nitzschia fraudulenta</i> , <i>Pseudo-nitzschia seriata</i> , <i>Thalassiosira suntilis</i> , <i>Trichodesmium thiebautii</i> , <i>Alexandrium catenella</i> , <i>Ceratium fusus</i> , <i>Dynophysis acuminata</i> , <i>Dynophysis caudata</i> , <i>Dynophysis fortii</i> , <i>Dynophysis hastata</i> , <i>Gamberdiscus toxicus</i> , <i>Gonyaulax polygramma</i> , <i>Gymnodinium catenatum</i> , <i>Gymnodinium breve</i> , <i>Lingodinium polyedrum</i> , <i>Prorocentrum lima</i> , <i>Prorocentrum mexicanum</i> , <i>Prorocentrum minimum</i> , <i>Scrippsiella trochoidea</i> . | Tejada <i>et al.</i> , 2003 |

Fuente: Modificado de Orjuela Rojas *et al.*, 2010.

2.6.2 MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS

La comunidad de macrofauna bentónica, según numerosos estudios, es mejor indicador de impacto que las propiedades químicas del sedimento (Carroll *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2004). De hecho, los macroinvertebrados bentónicos son un importante componente de la cadena alimenticia acuática y su historia de vida los hace susceptibles a cambios en las condiciones ambientales, especialmente por actividad antropogénica, que se traduce en cambios de la estructura trófica de la comunidad bentónica y con ello del sistema en general (Lucero *et al.*, 2006). Estos cambios derivados del estrés que causan las condiciones perjudiciales en el medio se asocian con alteraciones en la diversidad, abundancia, dominancia y biomasa, entre otros (Pearson & Rosenberg, 1978).

Dentro de los macroinvertebrados, los poliquetos han sido durante mucho tiempo seleccionados como buenos representantes de la salud de las comunidades bentónicas y debido a su escasa movilidad pueden verse expuestos a contaminación crónica asociada a la presencia de materiales tóxicos en el ambiente, por lo que los cambios que se presenten en el bentos deben reflejarse en la comunidad de poliquetos (Papageorgiou *et al.*, 2006).

En el Pacífico colombiano, se han empleado los géneros *Capitella* y *Notomastus* como indicadores de contaminación, ya que son abundantes en sedimentos enriquecidos orgánicamente. Organismos pertenecientes al primer grupo son considerados oportunistas en sedimentos alterados, cuando casi toda la fauna (infauna) ha muerto, por lo que siguen un patrón de sucesión después de una perturbación ambiental (Blake *et al.*, 2000), siendo la especie *Capitella capitata* de especial interés en estudios de contaminación tanto de tipo químico como microbiológico.

2.7 ORGANISMOS BIOMONITORES DE LA CONTAMINACIÓN EN EL PACÍFICO COLOMBIANO

La bioacumulación consiste en la capacidad de los organismos de acumular selectivamente contaminantes en sus tejidos respecto de las concentraciones existentes en el medio en que habitan (Riisgard *et al.*, 1985). Esta capacidad permite hacer un seguimiento a la calidad ambiental mediante la evaluación de los niveles de contaminantes incorporados por estos organismos.

Debido al potencial de organismos marinos, especialmente algas e invertebrados que concentran contaminantes,

se ha sugerido su uso como organismos de vigilancia o monitoreo en ambientes estuarinos y costeros, ya que permiten integrar espacial y temporalmente las variaciones ambientales de los contaminantes (Sharp *et al.*, 1988).

Las evaluaciones de la contaminación en el Pacífico colombiano se han realizado empleando diversos organismos como biomonitores. Estos grupos y/o especies se citan a continuación.

2.7.1 ALGAS

Los estudios relacionados con bioacumulación de contaminantes que han empleado algas se centran especialmente en la bahía de Buenaventura evaluando metales pesados en el alga roja *Bostrychia calliptera* (Ospina, 2002; Peña *et al.*, 2005) y la verde *Rizoclonium riparium* (Ospina-Álvarez *et al.*, 2006).

Ambas especies presentan una gran capacidad de acumulación de metales en el medio natural. Especialmente, el alga roja *Bostrychia calliptera* que mostró una tendencia a acumular altas concentraciones de cobre, muy por encima de la acumulación alcanzada por el alga verde filamentosa *Rizoclonium riparium* para este mismo metal.

Bostrychia calliptera y *Rizoclonium riparium*, así como otras algas, tienen la característica de acumular los metales pesados presentes en el agua, de allí que es importante considerar el potencial que tienen estas especies algales como organismos remediadores en procesos de descontaminación (Ospina, 2002).

2.7.2 ÁRBOLES DE MANGLAR

Los manglares son conocidos en todo el mundo por su alta productividad y los del Pacífico colombiano no son la excepción (Cantera & Contreras, 1993). Estos cuentan con una gran importancia en las zonas costeras porque proporcionan una barrera física que protege de la erosión y a la vez sirven como un filtro natural para eliminar contaminantes que fluyen de la tierra al mar (Beltrán *et al.*, 2005).

Esta última característica permite incluir a los árboles de manglar como potenciales biomonitores de la contaminación del ecosistema, aunque no se cuenta con información a este nivel para el Pacífico colombiano.

Pese a lo anterior, cabe mencionar que en Colombia se han realizado mediciones de metales pesados en tejidos

de árboles de manglar en la Ciénaga Grande de Santa Marta (Campos & Gallo, 1997; Naranjo-Sánchez y Troncoso-Olivo, 2008), encontrando en las raíces el mayor contenido de estos contaminantes, pero una baja absorción de metales por parte de los órganos del mangle (Naranjo-Sánchez & Troncoso-Olivo, 2008).

En Brasil, estudios realizados con hidrocarburos demuestran que estos compuestos incrementan su concentración en las hojas conforme se incrementa la concentración en el suelo (Olguín *et al.*, 2007) y a la vez, la incorporación de estos compuestos por parte de los árboles de mangle difiere de acuerdo a la especie, reportando incluso una fuerte correlación entre la concentración de hidrocarburos en los sedimentos de manglar con predominancia del género *Avicennia* y la aparición de mutantes deficientes en clorofila a (denominadas mutantes albinas); también estas mutantes han sido observadas en manglares con predominancia del género *Rhizophora* en la zona costera del mar Caribe y su presencia igualmente fue correlacionada con la concentración de hidrocarburos en los sedimentos (Duke & Watkinson, 2002).

Las respuestas de los mangles al contacto con hidrocarburos es compleja y controversial, dado que depende de múltiples factores, tales como la especie de mangle, del sustrato en el que ésta se encuentre, de las corrientes, dirección del viento y patrones de las mareas, de la temperatura ambiental, de la geomorfología y de las características físico-químicas de los hidrocarburos involucrados (relacionadas a toxicidad, bioacumulación y persistencia). (Olguín *et al.*, 2007).

2.7.3 MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS

En general, los peces y mariscos acumulan contaminantes, especialmente los mejillones, situación que pone en peligro la salud humana (Heintz *et al.*, 2000; Okay *et al.*, 2003), razón por la cual las especies de este último grupo fueron elegidas dentro del programa Mussel Watch de los Estados Unidos, para monitorear la calidad de los cuerpos de agua interiores y costeros a través del estado de salud y la presencia de contaminantes.

En el Pacífico colombiano los monitoreos para evaluar la calidad ambiental en el medio marino han sido periódicos por parte del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico-Ccecp desde finales de la década de los 80, pero debido a la ausencia de mejillones en la zona se recurrió a las especies propias de la región como *Striostrea prismatica*, *Crassostrea palmula* y *Andara tuberculosa*. Sin embargo, dada la disminución en cuanto a disponibilidad de algunas

especies, estos estudios se centraron en *A. tuberculosa*, que posteriormente fue incluida como organismo biomonitor o “centinela” en el seguimiento realizado por el programa Mussel Watch (Sericano *et al.*, 1995).

Los bivalvos son ideales en los seguimientos a la calidad del agua. Este grupo de organismos se alimenta por filtración en el medio y mediante este proceso incorporan contaminantes en sus tejidos. De acuerdo con la localización la tasa de filtración difiere significativamente (Karacik *et al.*, 2009), pero también influyen variables como: especie, fisiología, edad y condiciones ambientales, entre muchos otros factores. Los organismos saludables pueden filtrar entre 2 y 3 L/hora (Okay *et al.*, 2003, 2006), y en el caso específico de *A. tuberculosa*, la tasa de filtración estimada equivale 50 L/día (Fernández & Brunker, 1977).

La incorporación de contaminantes hace que estos organismos resulten de interés en las evaluaciones de contaminación ambiental, interés que se incrementa teniendo en cuenta la limitada capacidad para metabolizar los contaminantes que presentan los bivalvos con respecto a otros grupos como los peces (Beliaeff *et al.*, 2002; Skarphéðinsdóttir *et al.*, 2007; Takeuchi *et al.*, 2009).

Las bajas tasas metabólicas hacen que la capacidad de detoxificación en los organismos sea escasa o nula, característica que les proporciona un potencial de bioacumulación elevado (Fernández & Freire, 2003) por lo que se ejerce una escasa actividad metabólica sobre los contaminantes (Binelli & Provini, 2003) y por tal razón este grupo de organismos se considera apropiado en la monitorización de los mismos (Martín-Díaz *et al.*, 2007).

Estas características hacen que los bivalvos en general resulten potenciales biomonitores y que otras especies presentes en el Pacífico colombiano como *A. similis* se constituyan en una importante alternativa en las evaluaciones de la calidad ambiental marina. De hecho, estudios de bioacumulación de hidrocarburos aromáticos policíclicos realizados con esta especie sugieren una mayor capacidad bioacumulativa con respecto a *A. tuberculosa* (Zambrano-Ortiz *et al.*, 2011).

La capacidad bioacumulativa que presentan los bivalvos hace que su consumo se haya convertido en algunas regiones del mundo en un verdadero riesgo para la salud, no solo por la incorporación de contaminantes químicos sino también por las bacterias, patógenos de origen humano (Eduok *et al.*, 2010) y ficotoxinas (Richards, 2003).

CAPÍTULO III

ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS, USOS DEL SUELO Y LEGISLACIÓN AMBIENTAL



En este capítulo se contempla una descripción general de algunos aspectos socioeconómicos de la costa Pacífica colombiana, como la Legislación Ambiental en el ámbito nacional e internacional.



Citar este capítulo como:

Casanova, R y M. Zambrano. 2012. Aspectos socioeconómicos, usos del suelo y legislación ambiental. Pp. 63-69. En: DIMAR-CCCP. 2012. Panorama de la contaminación marina del Pacífico colombiano 2005-2010. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. Serie Publicaciones Especiales Vol. 7, San Andrés de Tumaco, Colombia. 158 pp.

3.1 POBLACIÓN

Colombia cuenta en la actualidad con 47 municipios costeros, 31 de ellos localizados en el Caribe y 16 en el Pacífico. De acuerdo con los resultados del Censo General de 2005, la población de estos municipios asciende a 4.2 millones de habitantes, equivalente al 10,1 % del total nacional. La costa Caribe concentra el mayor porcentaje de población, 83 %, y sus niveles de urbanización son superiores al promedio del país (el 81 % y el 75 %, respectivamente). El restante 17,1 % de la población costera, correspondiente a 721.583 habitantes, se encuentra en los municipios del Pacífico y sus niveles de urbanización son inferiores al promedio nacional (63 %) (DNP, 2007).

A lo largo de la historia en la costa Pacífica colombiana se ha considerado a Buenaventura y Tumaco como los polos de desarrollo.

3.2 ASPECTOS ECONÓMICOS

Al comparar el ingreso per cápita departamental y nacional se observa que los departamentos costeros se encuentran entre los más pobres del país. El ingreso per cápita en ocho de los doce departamentos costeros es inferior al promedio nacional y tres de ellos (Chocó, Sucre y Nariño), se ubican en el rango más bajo de la distribución, con ingresos que no llegan a la mitad del promedio nacional (DNP, 2007)

Buenaventura ha tenido durante décadas un papel protagónico en la economía nacional. Su economía se basa en la actividad portuaria y del transporte, en el comercio, recursos forestales y en la actividad aduanera. Tiene sectores industriales relacionados con la pesca, la transformación de la madera y la manufactura. Así, se perfila como uno de los puertos importantes del país, dado que moviliza cerca del 55 % de la carga nacional. Es indiscutible el beneficio derivado del puerto en Buenaventura; la llegada de barcos de diferentes partes del mundo, cargados de mercancías de todo tipo, hizo en un comienzo a la ciudad atractiva para nacionales y extranjeros. Tal fue la internacionalización, que incluso se llegaron a abrir varios consulados. Sin embargo, fue mayor la expectativa de empleos en la ciudad que la mano de obra que pudo absorber el puerto. En general, la cobertura actual de los servicios públicos en la cabecera municipal es del 40 %. En acueducto y alcantarillado, específicamente, solo llega al 10 %, servicios que no existen en la zona rural, lo que refleja una desprotección total si se tiene en cuenta que el promedio nacional de cobertura del servicio de acueducto es del 82 % y de

alcantarillado del 50 %. El desempleo supera el 29 % y existen más de 89 asentamientos subnormales que corresponden al 57 % del total de viviendas de la zona urbana (31.576), concentrándose el 60 % de su población en los estratos 1 y 2 (Rojas *et al.*, 2008).

San Andrés de Tumaco tiene grandes riquezas naturales que apuntalan su economía: plantaciones de palma africana, de banano y cacao. Cuenta con grandes recursos forestales, abundante pesca y un potencial para la acuicultura, además de un buen puerto de cabotaje no aprovechado en su totalidad. En Tumaco, las condiciones ecológicas y las características del suelo la convierten en una región con vocación básicamente forestal y marginalmente agrícola. Los principales factores limitantes que presenta el suelo son la poca fertilidad, elementos en exceso (toxicidad y acidez), escasa luminosidad, riesgos de inundación y problemas de drenaje. El cultivo de la palma africana es el único de los productos industriales que ha recibido atención por parte del ICA, en su estación experimental El Mira. La agricultura es una actividad fundamental para la subsistencia de esta población (Rojas *et al.*, 2008).

3.3 INDICADORES SOCIALES

Con base en el Índice de Condiciones de Vida (ICV), la zona del Pacífico (Cauca, Chocó y Nariño) registra las peores condiciones de vida del país con un ICV inferior en cerca de 15 puntos con respecto al promedio total nacional (DNP, 2007).

En materia de salud, si bien se observa una mejoría en los indicadores nacionales y regionales, la brecha entre las zonas costeras y el resto del país se mantiene. Según la Encuesta de Demografía y Salud (ENDS) de Profamilia, entre los años 2000 y 2005, la tasa de mortalidad infantil se redujo de 25 % a 19 % en todo el país. No obstante en las zonas costeras dichas tasas estaban en el 2005 aún muy por encima del promedio nacional: el 24,8 % en la región Caribe y el 30 % en el Pacífico. En cuanto a la afiliación al Sistema General de Seguridad Social en Salud (Sgsss), el 40 y el 49 % de la región Atlántica y del litoral Pacífico, respectivamente, no tenían acceso al sistema, frente al 31 % en todo el país (DNP, 2007).

En educación básica y media, los departamentos costeros han registrado en los últimos años mejorías importantes en sus coberturas. En calidad, sin embargo, no se han alcanzado progresos significativos como lo confirma la elevada proporción de colegios que se ubican en las categorías inferiores de las pruebas de Estado del ICFES. La situación es similar en educación superior, en la cual

se observan limitaciones en cuanto a la cantidad de programas ofrecidos, su calidad y pertinencia para atender las problemáticas regionales y las necesidades de sus sectores productivos (DNP, 2007).

Los departamentos del Pacífico contribuyen con cerca del 15 % de la producción agropecuaria nacional. En la agricultura tradicional se destacan los cultivos de plátano, maíz, yuca, coco y frijol, los cuales son a su vez la base de la dieta alimenticia de las poblaciones costeras. En cuanto a los cultivos comerciales, además de la caña de azúcar producida en los valles interandinos, sobresalen los de palma africana, cacao y coco.

En ganadería, la región participa con cerca del 5 % del hato nacional, equivalente 1,2 millones de reses. En los últimos años ha habido una expansión de esta actividad en el Urabá chocono y el litoral nariñense, con impactos ecológicos adversos por la deforestación y la desecación de los humedales. No obstante, la mayoría de los municipios costeros cuentan con áreas aptas para la agricultura y la ganadería estimadas en 660.000 ha, las cuales podrían ser aprovechadas en forma sostenible para generar ingresos y mejorar las condiciones de vida de sus habitantes, que se cuentan entre los más pobres del país. (DNP, 2007).

Durante las últimas cuatro décadas, la región ha perdido más de cinco millones de hectáreas de bosque natural, el cual es explotado sin consideraciones de sostenibilidad y bajo condiciones rudimentarias y antitécnicas, exacerbando el daño ambiental y el desperdicio del recurso. Así mismo, en las áreas cercanas a los centros poblados (Quibdó, Condoto e Itzmina), la colonización ejerce una fuerte presión sobre el bosque, debido a la baja productividad de los suelos (DNP, 2007).

3.4 LEGISLACIÓN AMBIENTAL MARINA

3.4.1 LEGISLACIÓN NACIONAL RELACIONADA CON LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MARINA

El desarrollo sostenible, se define como el desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades; la Constitución Nacional, en desarrollo de este principio

consagró en su Art. 80 del Capítulo III, que: “*El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Asimismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en zonas fronterizas*”. Lo anterior implica asegurar que la satisfacción de las necesidades actuales se realice de una manera racional que no comprometa la capacidad y el derecho de las futuras generaciones para satisfacer las propias.

A nivel nacional se encuentran normas relativas a la preservación del medio ambiente en general, mientras que en cuestión marítima los criterios técnicos son incipientes. En la tabla 3.1 se presenta un compilado de la parte normativa nacional con respecto a calidad del agua marina y control de la contaminación.

Este gran esfuerzo del país por generar normativas que garanticen la conservación del ambiente, no ha sido eficaz debido a la carencia en la asignación de recursos necesarios para cumplir las funciones asignadas a las entidades competentes. En este sentido, y teniendo en cuenta el potencial de biodiversidad con que cuenta el país, destacándose regiones como el Chocó biogeográfico, es prioritario que se destinen recursos dirigidos a fortalecer y potencializar las capacidades de estas entidades, cuyos objetivos misionales están direccionados a la vigilancia, protección, preservación, mitigación e investigación de los ecosistemas ambientes marino costeros.

3.4.2 LEGISLACIÓN INTERNACIONAL ADOPTADA POR COLOMBIA RELACIONADA CON LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MARINA

Colombia también se adhiere a organismos internacionales que lideran y coordinan la expedición de acuerdos y convenios para proteger la sostenibilidad del medio marino y sus recursos. En la tabla 3.2 se relacionan algunos de los convenios internacionales más relevantes ratificados por Colombia, en los cuales se establecen criterios o directrices para prevenir, minimizar y/o mitigar la contaminación de los ecosistemas marinos y/o estuarinos.

Tabla 3.1 Compilado de Normativas Nacionales relacionadas con mares y costas.

| Documento | Descripción | Aplicación al Proyecto |
|---|--|---|
| Decreto No. 1875 de 1979 ¹ | Decreto del Ministerio de Defensa Nacional, por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones. | Establece la definición de contaminación marina “como la introducción por el hombre, directa o indirecta, de sustancias o energía en el medio marino cuando produzca o pueda producir efectos nocivos, tales como daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana, obstaculización de las actividades marinas, incluso la pesca y otros usos legítimos del mar, deterioro de la calidad del agua del mar y menoscabo en los lugares de esparcimiento”. |
| Decreto 1594/84 ² | Usos del agua y vertimientos líquidos | Artículo 45. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso en la preservación de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas o estuarinas. |
| Ley 99/93 ² | Por el cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del Medio Ambiente y los Recursos Naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA | Artículo 103 define el apoyo de las fuerzas armadas: Las Fuerzas Armadas velarán en todo el territorio nacional por la protección y defensa del medio ambiente y los recursos naturales renovables y por el cumplimiento de las normas dictadas con el fin de proteger el patrimonio natural de la Nación, como elemento integrante de la soberanía nacional. |
| Decreto 2811/74 ² | Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. | Parte IV del mar y de su fondo, art. 164 corresponde al Estado la protección del ambiente marino constituido por las aguas, por el suelo, el subsuelo y el espacio aéreo del mar territorial y el de la zona económica, y por las playas y recursos naturales renovables de la zona. |
| Plan Nacional de Contingencia contra derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres (PNC) ² . | Aprobado por Decreto 321/99. | Instrumento rector del diseño y realización de actividades dirigidas a prevenir, mitigar y corregir los daños que éstos puedan ocasionar, y dotar al Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de una herramienta estratégica, operativa e informática que permita coordinar la prevención, el control y el combate por parte de los sectores público y privado nacional, de los efectos nocivos provenientes de derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas en el territorio nacional, buscando que estas emergencias se atiendan bajo criterios unificados y coordinados. |
| Resolución N° 153 de la Superintendencia General de Puertos, (Noviembre 25 de 1992) ² | Por medio de la cual se determina el Reglamento de Condiciones Técnicas de Operación de los Puertos | Artículo No. 22, Protección del Medio Ambiente Marino: “en la actividad portuaria todas las personas en ella involucradas se someterán a lo prescrito por los Convenios Marítimos Internacionales ratificados por la nación, así como a las recomendaciones y directrices adoptadas por las autoridades marítima y portuaria nacional”. |

Fuente: Latorre, 1998¹; Garay *et al.*, 2004².

Tabla 3.2 Convenios y/o programas internacionales que establecen directrices para prevenir y/o minimizar la contaminación marina.

| Documento | Descripción |
|--|---|
| Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino de las Actividades Terrestres (PAM) ¹ . | Guía conceptual y práctica, base para que las autoridades nacionales y/o regionales planifiquen e implementen acciones para prevenir, controlar y/o acabar con la degradación marina causada por actividades terrestres. |
| MARPOL 73/78 para prevenir la contaminación por los buques. Aprobado por la Ley 12/81 ¹ . | El gobierno elaboró la estrategia para el cumplimiento. DIMAR y el MAVDT han realizado acciones de capacitación y reglamentación para su cumplimiento. |
| Agenda 21 ¹ | Dedica su capítulo 17 al tema de la protección de los recursos oceánicos. En sus recomendaciones deja en claro que la conservación y preservación del medio marino y sus recursos requiere del cumplimiento eficaz de la Convención de Jamaica de 1982. |
| Convención de las Naciones Unidas Sobre el Derecho del Mar, Convemar, Jamaica 1982 ¹ | Mecanismo para la protección del medio marino y los usos legítimos del mar y sus recursos. |
| Ley 45/85 ¹ | Protocolo de cooperación regional para el combate contra la contaminación del Pacífico Sudeste por Hidrocarburos y otras Sustancias Nocivas en Caso de Emergencia. |
| Convenio para la protección y el desarrollo del medio marino en la región del gran Caribe. Convenio de Cartagena ¹ | Las partes contratantes deben adoptar, individual o conjuntamente, medidas para prevenir y controlar la contaminación y garantizar la ordenación racional del medio marino. |
| El Fondo 71/76 (1976) ² | Convenio Internacional para la Constitución de un Fondo Internacional de Indemnización de Daños Causados por la Contaminación de Hidrocarburos. Colombia lo aprobó mediante Ley 257 del 15 de enero de 1996. |
| Acuerdo sobre Cooperación Regional para el Combate Contra la Contaminación del Pacífico Sudeste por Hidrocarburos y Otras Sustancias Nocivas en Caso de Emergencia ² | Aprobado mediante Ley 45 del 26 de febrero de 1985. |
| Convención de Basilea ² | Dirigido al control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación. Colombia lo convirtió como Ley 253 de 1996. |
| Convenio Internacional sobre Responsabilidad Civil por daños causados por la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos de 1969 y Protocolo 1976. "CLC 69/76" ² . | Aprobado por Ley 55/89. Este convenio sienta reglas internacionales para determinar responsabilidades y garantizar que se otorgue indemnización adecuada a las víctimas de la contaminación por hidrocarburos, haciendo recaer la responsabilidad de dicha indemnización en el propietario del buque. |

Fuente: Casanova, 2010¹; Garay *et al.*, 2004².

3.4.3 LA DIRECCIÓN GENERAL MARÍTIMA FRENTE A LA INVESTIGACIÓN MARINA

La Dirección General Marítima (Dimar), a través de su Agenda de Investigación Científica, formula las políticas de la Autoridad Marítima Nacional para la gestión interna en ciencia, tecnología e innovación, así como para el desarrollo y consolidación de la investigación científica marina en las disciplinas afines, alineadas con el Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Defensa (Sicited) y en concordancia con el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación de Colombia (Snciti), con el objeto de direccionar, proyectar y fortalecer la capacidad de investigación científica marina; de fomentar el desarrollo tecnológico y la innovación mediante planes, programas, proyectos y estudios técnicos que contribuyan al ejercicio de la Autoridad Marítima generando valor agregado para beneficio institucional; así como de atender las necesidades del sector defensa, facilitar la toma de decisiones estratégicas, soportar la generación de políticas, planes y programas de carácter nacional e institucional y satisfacer las necesidades de la comunidad marítima en general, cumpliendo con las responsabilidades de Dimar.

Dentro de los programas de investigación de la Agenda Científica está el Programa de Protección del Medio Marino el cual se enmarca en correspondencia con el artículo 19 del decreto ley 2324 y estipula: “Aplicar, coordinar, fiscalizar y hacer cumplir las normas nacionales e internacionales tendientes a la preservación y protección del medio marino y de acuerdo con el Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de las Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación del Mar, Pnism, 2004-2014. Este programa tiene como objetivo “generar conocimiento para dar cumplimiento a los planes, programas y proyectos nacionales e internacionales orientados a la protección del medio marino: Plan de Protección del Medio Marino Dimar 2009 - 2014, Pnism 2004-2014, Proyectos y compromisos OMI, Compromisos Rocram, CPPS, Erfen, tareas que para la región del Pacífico colombiano se realizan a través del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico-Cccp.

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN DE ALGUNOS CONTAMINANTES EN EL PACÍFICO COLOMBIANO



En este capítulo se contempla una evaluación de los niveles de algunas sustancias contaminantes y de parámetros físico-químicos indicadores de la calidad del agua en las principales bahías de la costa Pacífica colombiana.

Citar este capítulo como:

Casanova, R., M. Zambrano., E. Velasco., D. Rodríguez., G. Escobar., J. Betancourt., S. Narváez y P. Bautista. 2012. Evaluación de algunos contaminantes en el Pacífico colombiano. Pp. 71-126. En: DIMAR-CCCP. 2012. Panorama de la contaminación marina del Pacífico colombiano 2005-2010. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. Serie Publicaciones Especiales Vol. 7, San Andrés de Tumaco, Colombia. 158 pp.

4.1. PRINCIPALES SUSTANCIAS CONTAMINANTES EN EL LITORAL PACÍFICO COLOMBIANO

Entre los principales problemas de contaminación que afrontan los ecosistemas estuarinos del Pacífico colombiano se encuentra la descarga de sustancias contaminantes provenientes de fuentes terrestres. Se destacan en las áreas de Buenaventura y Tumaco los vertimientos de aguas residuales de origen doméstico, industrial, minero, agrícola y forestal que generalmente se realizan sin ningún tipo de tratamiento (Figura 4.1). También se presenta el ingreso de Compuestos Orgánicos Persistentes (COP), tales como plaguicidas organoclorados, agroquímicos y metales pesados, entre otras sustancias, a través de escurrimientos que alcanzan las cuencas hídricas. Igualmente, aún se percibe una incesante entrada de residuos sólidos.



Figura 4.1 Descargas de aguas residuales domésticas hacia el medio marino.

4.1.1 CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS

Uno de los principales, y más conocido de los tipos de contaminación marina, es el ocasionado por el vertimiento de hidrocarburos del petróleo generado por el transporte marítimo (buques pesqueros, pequeñas motonaves dedicadas al transporte de mercancía y lanchas), los derrames accidentales durante operaciones de manejo de petróleo, y la silenciosa y permanente liberación y/o escapes desde las estaciones de servicio de combustibles a orillas del mar. Estos vertimientos afectan las aguas, sedimentos y organismos (Figura 4.2), generando la reducción parcial o total de la fauna y flora marinas en playas y zonas costeras afectadas.

El petróleo está constituido principalmente por dos clases



Figura 4.2 El transporte marítimo de petróleo, una amenaza de contaminación por hidrocarburos.

de hidrocarburos: alifáticos y aromáticos, y dentro de estos últimos se encuentran los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) que, a su vez, constituyen la fracción más tóxica. Su presencia en el ambiente marino se asocia con derrames en operaciones de manejo (cargue, descargue y transporte) del petróleo y sus derivados, pero también con la precipitación atmosférica, transporte a través de ríos, actividades domésticas e industriales, entre otras fuentes.

Los HAP se clasifican en compuestos de bajo peso molecular (2 y 3 anillos), asociados con el petróleo, y de alto peso molecular (4 y 5 anillos) asociados con productos de la combustión. Además, los HAP de origen petrogénico tienen predominio de derivados alquilados, mientras que en los de origen pirolítico (combustión) predominan los parentales. Estos últimos, considerados como contaminantes ubicuos, son más resistentes a la biodegradación y se les atribuye un potencial genotóxico, estando clasificados dentro del grupo 2B (posiblemente carcinógeno para el ser humano) de la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, 1987).

Los HAP son relativamente estables y se han catalogado como los compuestos adecuados en el diagnóstico de la contaminación por petróleo y proveen información relacionada con la fuente y el grado de degradación (Page *et al.*, 1995; Bence & Burns, 1995; Douglas *et al.*, 1996), enmarcándose en el tema central de muchos estudios encaminados a evaluar sus efectos adversos sobre los componentes de los ecosistemas afectados; por ejemplo de ecotoxicidad sobre organismos bivalvos.

Tras lo anterior los hidrocarburos en el medio marino pueden causar los siguientes efectos:

- Alteración física y química de los hábitats naturales.
- Efectos físicos en la flora y fauna que pueden llegar a ser letales.
- La fauna puede verse afectada por varios factores: la persistencia de una mancha de crudo limita el paso de la luz y por tanto reduce la actividad fotosintética.
- Cambios de mayor o menor importancia, según el vertido, en las comunidades y organismos del área afectada.
- Cambios en los hábitos de poblaciones migratorias.
- Contaminación en especies de la cadena alimenticia humana.
- Mala imagen para los sectores dependientes de la costa y el mar.
- Suspensión temporal de las actividades industriales o de ocio.

Teniendo en cuenta los efectos adversos que causan estos compuestos sobre el ambiente marino costero, el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (Cccp) ha realizado estudios sistemáticos en puntos de muestreo ubicados en las bahías de Tumaco, Buenaventura y Málaga (Figura 1.1), tendientes a evaluar las concentraciones de los 16 HAP, catalogados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos como contaminantes prioritarios por sus propiedades tóxicas, mutagénicas y carcinogénicas, en muestras de agua recolectadas durante el período 2007-2008; y de sedimentos, tomadas entre el 2007 y el 2009. Los resultados y análisis de esta evaluación se plasman en el presente apartado.

4.1.1.1 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en el agua

Los HAP son compuestos formados principalmente durante la combustión incompleta de combustibles fósiles, carbón o aceites refinados. Esta clase de hidrocarburos ha sido ampliamente evaluada por sus características tóxicas, mutagénicas y teratógenas (Vinggaard, *et al.*, 2000; Fertuck *et al.*, 2001) debido a múltiples fuentes, razón por la cual se catalogan como micro-contaminantes ubicuos.

Los HAP, según su mecanismo de formación, se clasifican en: pirogénicos, combustión incompleta de material orgánico; petrogénicos, transformación de material orgánico biogénico a combustible fósil; diagénicos, generados durante etapas tempranas de la

diagénesis en sedimentos recientes (Venkatesan, 1988); y biogénicos, directamente de la síntesis de organismos como microalgas y bacterias marinas.

En general, los HAP pirogénicos se caracterizan por una dominancia de compuestos no sustituidos sobre sus homólogos alquilados y de los compuestos de alto peso molecular (4-6 anillos) sobre los de bajo peso molecular (Wang *et al.*, 2001).

Bahía de Tumaco

En la normatividad colombiana existe un vacío referente a criterios admisibles de HAP en matrices ambientales, razón por la cual los resultados son comparados con límites referenciados en estudios similares realizados en ecosistemas de otros países y/o criterios internacionales.

La composición del grupo de HAP en las matrices ambientales es un ligero indicativo del tipo de fuentes que aportan estos contaminantes en la Bahía; así, la presencia predominante de hidrocarburos livianos (dos a tres anillos bencénicos) es señal de que posiblemente los compuestos encontrados son de origen petrogénico, aún cuando la dinámica de las aguas, las corrientes y los procesos de mezcla y degradación no permiten identificar fuentes puntuales y específicas a través de la composición de HAP en aguas marinas en el área.

De los 16 HAP evaluados (N: naftaleno; Ac: acenaftileno; Ace: acenafteno; Flu: fluoreno; F: fenantreno; A: antraceno; Fl: fluoranteno; Pi: pireno; BaA: benzo[a]antraceno; C, criseno; BbFl, benzo[b]fluoranteno; BkFl, benzo[k]fluoranteno; BaPi, benzo[a]pireno; BghiPer, benzo[ghi]perileno; DBA, dibenzo[ah]antraceno; IPI: indeno[1,2,3-cd]pireno) a través de cuatro monitoreos durante los años 2007 y 2008, las concentraciones del grupo de compuestos de 5 y 6 anillos aromáticos se encontraron, con baja frecuencia, entre N.D y 20 ng/L; mientras que los hidrocarburos de 2 a 4 anillos se presentaron con mayor frecuencia y algunos con concentraciones relativamente más altas, y por ende con promedios más altos (Figura 4.3); así mismo, los HAP de 2 y 3 anillos, debido a su relativo bajo peso molecular, presentan mayores propiedades hidrofílicas de la serie, lo que les permite mantenerse en la columna de agua. Sin embargo, estos compuestos tienden a evaporarse y/o degradarse más fácilmente por efecto de la temperatura, la luz, el viento y los microorganismos hidrocarburofílicos.

En la bahía de Tumaco, en las estaciones ubicadas en cercanía a la desembocadura de los ríos, generalmente se presentaron las menores concentraciones de HAP (Σ HAP), hecho que puede asociarse a que en las estaciones adyacentes a la costa, los contaminantes se

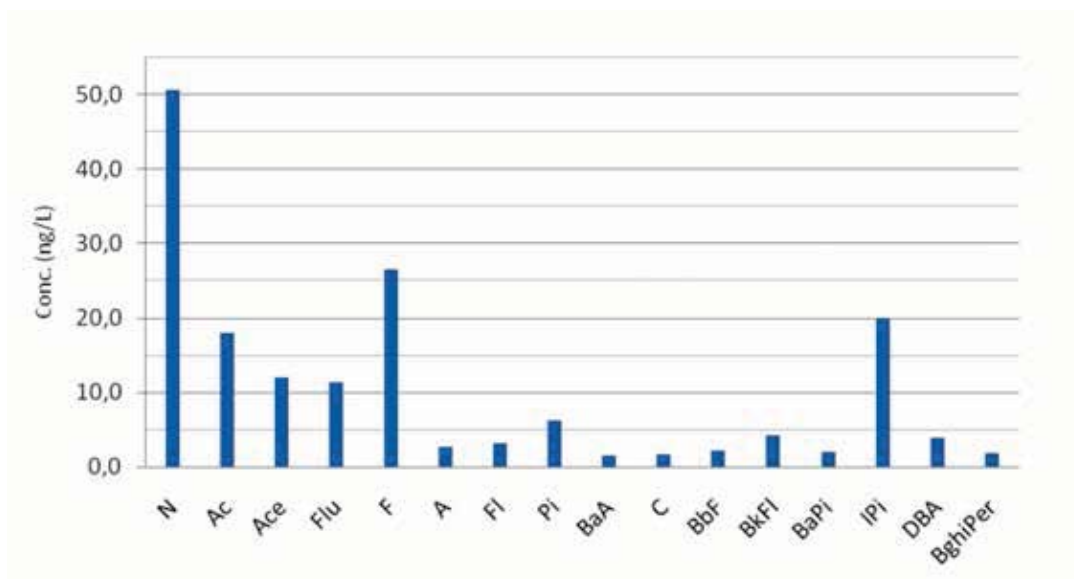


Figura 4.3 Concentraciones medias de HAP en aguas de la bahía de Tumaco, período 2007-2008.

adsorban y/o absorban sobre el material particulado, que se encuentra en mayor concentración, y posteriormente sedimenten; en tanto que las ubicadas en sectores con mayor influencia oceánica exhibieron los niveles más altos, lo que puede obedecer a una generación por motores de combustión de motonaves, puesto que la relación fenantreno a antraceno fue menor a 15, acorde con lo establecido en la literatura. Los niveles para la Σ HAP estuvieron comprendidos entre 2,0 y 174 ng/L, con un promedio de 32,7 ng/L.

Las concentraciones encontradas para los diferentes HAP no superaron los valores de las directrices en la calidad del agua para la protección de la vida acuática establecidas en el Interim Water Quality Guideline (IWQG) del Canadá (Garrett, 2004); al igual que los límites establecidos en el marco del proyecto PNUD/GEF/RLA/99/G31 (FREPLATA, 2004).

Bahía de Buenaventura

Los compuestos de la serie de HAP determinados para la bahía de Buenaventura presentaron un comportamiento similar al observado en la bahía de Tumaco, en la cual con alta frecuencia los niveles de HAP de 5-6 anillos presentaron concentraciones No Detectables (N.D), como consecuencia de su afinidad con materiales

orgánicos lipofílicos; asimismo, al ser adsorbidos y/o absorbidos en el material particulado que generalmente precipita; en tanto que el grupo de HAP de 2, 3 y 4 anillos representaron contribuciones entre el 68 % y 100 % de la concentración total correspondiente a la Σ HAP, lo cual obedece principalmente a la significativa solubilidad relativa dentro de la serie de los 16 HAP.

Los compuestos identificados con mayor frecuencia principalmente fueron: Flu con niveles entre N.D y 74,9ng/L; Fl entre N.D y 40 ng/L, siendo este máximo igual al criterio establecido para la protección de la vida acuática establecido por la IWQC; pireno (Pi) con valores entre N.D y 229,5ng/L; cuyas concentraciones medias fueron de 20,1 ng/L, 6,5 n/L y 20,3 y ng/L, respectivamente (Figura 4.4). Durante los dos monitoreos del 2007 y el primero del 2008, en algunos puntos de la Bahía como sitios adyacentes a Copescol y Playa Basura, se encontraron relativamente las más altas concentraciones para la Σ HAP, debido a los aportes de origen antrópico provenientes de las aguas residuales domésticas y de otras actividades de la población. Durante el segundo muestreo del 2008, las concentraciones más altas para este grupo de compuestos fueron determinadas en otros puntos de la Bahía llegando alcanzar los 430,4 ng/L.

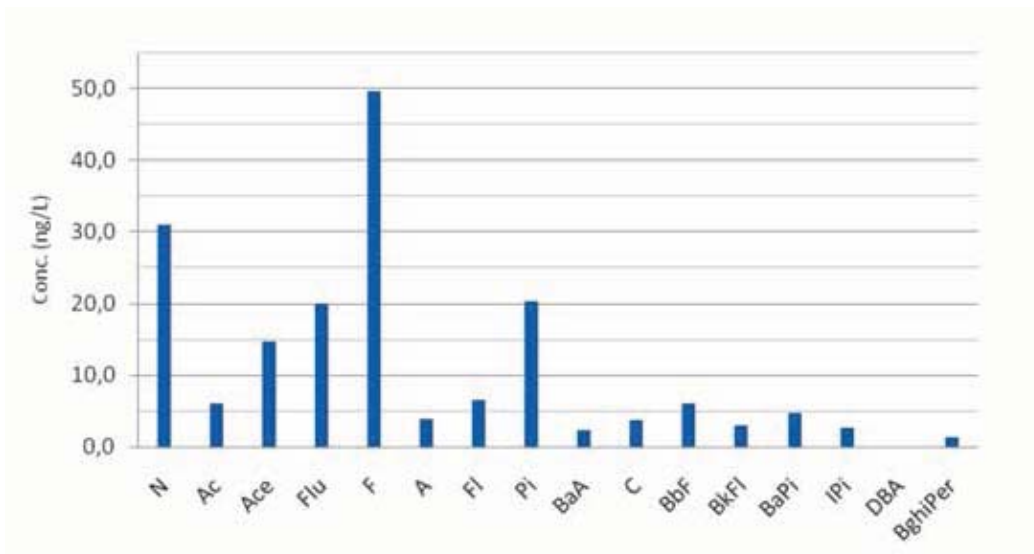


Figura 4.4 Concentraciones medias de HAP en aguas de la bahía de Buenaventura, período 2007-2008.

Considerando las relaciones diagnósticos, típicas para los diferentes orígenes de hidrocarburos, que se basan en la mayor abundancia de un compuesto respecto al otro, permiten identificar fuentes específicas tales como: petróleo, combustión y emisiones de combustibles; para lo cual existe una variedad de valores referenciados por distintos autores para describir una fuente de origen, como es el caso del BaA/BaA+Cry; Bghi/Ind; A/A+F; Fl/Fl +Pi, propuestas por Bucheli *et al.* (2004), Schulz & Emeis (2000). Es así como la relación obtenida para las concentraciones medias de A/ (A + F), a través del período de estudio, fue menor a 0,1, indicando que su origen está asociado a derivados del petróleo.

Algunos compuestos presentaron niveles similares a los establecidos por la IWQC del Canadá, pero en general, los niveles encontrados para los HAP fueron menores a

los referenciados en la misma.

Bahía Málaga

Las concentraciones registradas para los ΣHAP reciben contribuciones principalmente de compuestos de bajo peso molecular (2-3 anillos aromáticos), los cuales representaron una contribución promedio del 37,8 %. De estos, el N y Flu fueron los más representativos con concentraciones determinadas entre niveles N.D y 82,0 ng/L y 71,3 ng/L, respectivamente.

Las concentraciones determinadas para el grupo de compuestos conformados por dos, tres y cuatro anillos correspondieron a 17,3 ng/L. La concentración media más alta detectada dentro de los 16 HAP fue para el F, con 53,8 ng/L; siguiendo en su orden el N y el Flu con 37,1 y 32,4 ng/L, respectivamente (Figura 4.5).

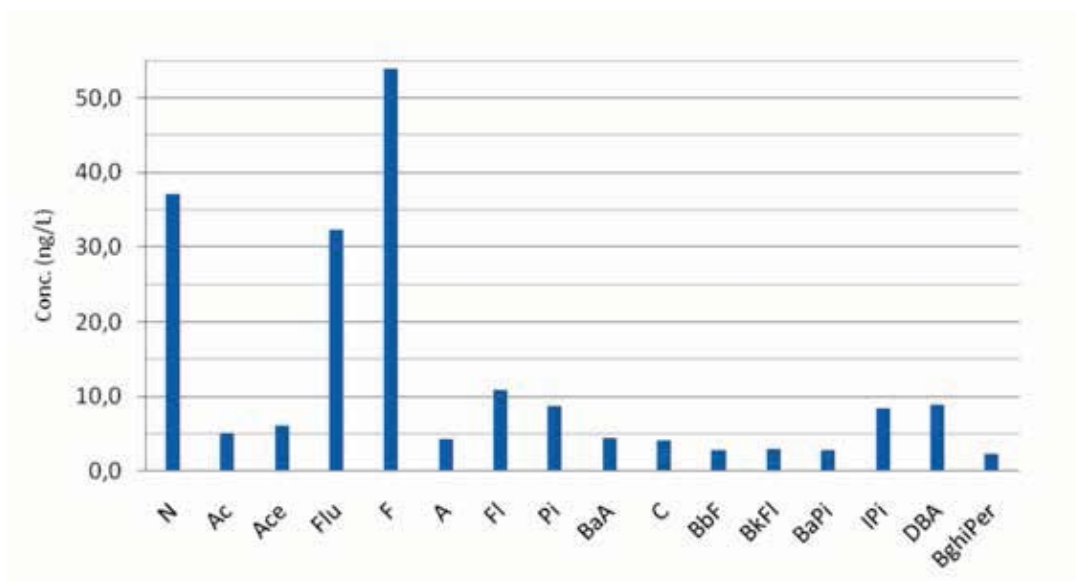


Figura 4.5 Concentraciones medias de HAP en aguas de Bahía Málaga, período 2007-2008.

También merece mencionar que compuestos tales como el Flu, Pi y A se encontraron con alta frecuencia, pero con niveles relativamente bajos como posible consecuencia de subproductos de la combustión incompleta de combustibles líquidos; lo cual se corrobora tras encontrar que aproximadamente el 87 % de las relaciones determinadas para fluoranteno/(fluoranteno + pireno) fue menor a 1.

En general, los valores determinados para Bahía Málaga (Σ HAP) estuvieron por debajo de los límites establecidos por la directiva canadiense que a su vez están incluidos en los valores de referencia reportados en el proyecto PNUD/Gefra/99/G31 (FREPLATA, 2004).

4.1.1.2 Monitoreo de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en sedimentos

Los contaminantes en el ambiente marino se pueden analizar en el agua, en el material suspendido, en la biota y en los sedimentos. Muchas veces la medida de la concentración de los contaminantes en el medio acuático marino y/o estuarino no es definitiva debido a varios factores, tales como: la emisión de las descargas

es irregular y fluctuante, la dinámica marina, el régimen mareal, la variabilidad de la temperatura, el pH, la salinidad, entre otros.

Para evaluar los niveles de HAP en un ecosistema marino y/o estuarino, la matriz indicada es el sedimento, puesto que constituye un excelente indicador del grado de contaminación para un área determinada, teniendo en cuenta que los contaminantes orgánicos persistentes se adsorben sobre el material en suspensión, que tiende a sedimentarse, y finalmente se acumulan en los sedimentos, constituyéndose así en un testigo confiable de la afectación de un ecosistema.

Bahía de Tumaco

El 40 % de los 384 registros de los 16 HAP estuvieron por debajo del límite de detección del método. Los niveles para los 16 HAP evaluados a través de cuatro monitoreos estuvieron comprendidos entre valores N.D y 109,6 ng/g, cuya máxima concentración fue para el Fl, pero su manifestación no fue sistemática, mientras que las concentraciones para el F fueron moderadas y con mayor frecuencia, conllevando a representar la concentración promedio más alta de 37,6 ng/g (Figura 4.6).

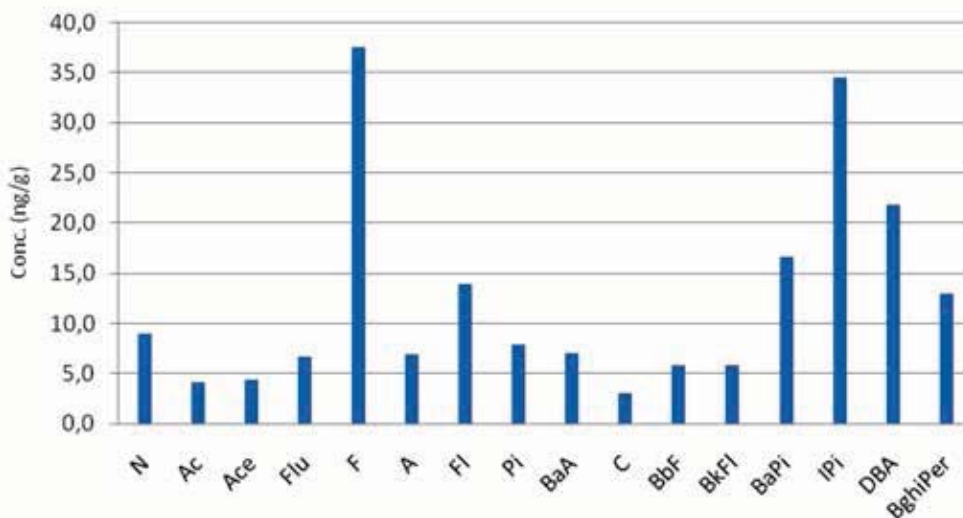


Figura 4.6 Concentraciones medias de HAP en sedimentos de la bahía de Tumaco, durante 2007 y 2009.

A través de cuatro monitoreos, el 66,7 % de los valores de las relaciones correspondientes a antraceno/(antraceno+fenantreno) o sea $A/(A+F)$ fueron mayores a 0,1 lo que refleja que el origen de los HAP es por combustión, asociada a combustibles petrogénicos, situación que también se corrobora con la relación fluoreno/(fluoreno+pireno), para la cual el 82,6 % de los valores fueron menores a 0,5 que indica este mismo origen. De forma similar, los porcentajes complementarios inferen también origen del petróleo y sus derivados.

Las estaciones ubicadas en cercanías a la desembocadura de los ríos (Figura 1.1) presentan las mayores concentraciones relativas para la sumatoria de HAP; es así como por ejemplo en la estación 26 se han encontrado concentraciones de hasta 236 ng/g, como consecuencia de la influencia directa del ingreso de sustancias que desde el río Mira son transportadas a través de un brazo del mismo, conocido como estero La Coba; en este se desarrolla una alta actividad relacionada con el transporte acuático asociado al acceso a los pequeños caseríos o veredas, y a la salida de madera por parte de los explotadores de bosque. Asimismo, el río recibe varios afluentes que le aportan una variedad de sustancias y aguas servidas de diversas poblaciones.

De forma similar las estaciones 20 y 23, ubicadas en el sector oriental de la Bahía, influenciadas directamente por los ríos Rosario, Mejicano, Chagüí, Tablones y Colorado, a través de los cuales pueden ingresar estas sustancias, han registrado concentraciones de 171 ng/g y 137,4 ng/g, respectivamente.

Lo anterior refleja que en la bahía de Tumaco la entrada principal de HAP llega desde el continente, como producto de diversas actividades no controladas en la región. Para no extender esta discusión, en algunos casos se connota, por ejemplo, el uso de las fuentes hídricas en vías o carreteras como lugares para el lavado de automotores, utilizando detergentes acompañados de combustibles como ACPM y/o gasolina, prácticas que deben eliminarse.

Durante los muestreos del primer semestre, de cada año, los niveles para la Σ HAP superaron a los del segundo semestre, lo que puede asociarse con el escurrimiento y/o escorrentías del período invernal desde el continente, aunado a los generados por las actividades marítimas y/o portuarias. Esto indica que la entrada de estas sustancias al ambiente marino cambia en el tiempo. De ahí que los niveles en un momento dado puedan ser mayores y/o menores a los reportados en esta evaluación.

Finalmente, las concentraciones encontradas para los

diferentes HAP no superaron los valores de las Directrices para la Calidad del Sedimento (ISQG, Interim Sediment Quality Guideline, del Canadá) para la Protección de la Vida Acuática; al igual que los límites establecidos en el marco del Proyecto “Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats”, desarrollado por un conjunto de organizaciones de Uruguay y Argentina con el fin de establecer la línea base de la calidad del agua y los sedimentos.

Bahía de Buenaventura

Durante el período evaluado, la concentración más alta registrada fue de 291 ng/g relativa al Fl. El valor promedio para los aromáticos de 5-6 anillos (17,0 ng/g), en el área fue menor con relación a la obtenida para el grupo de cuatro anillos (40,4 ng/g), lo que puede estar asociado a que en el primer grupo de compuestos están: el BkFl, BbFl, BaPi, IPI, BghiPer, los cuales se originan de la combustión de la materia orgánica (vegetación, madera y carbón), actividad que no es de alta intensidad con relación a la combustión de combustibles líquidos, utilizados en motores, procesos de alta intensidad en el área, que se caracterizan por emisiones importantes de varios compuestos con estructura de cuatro anillos, entre ellos el Fl. De forma similar, la combustión de combustibles líquidos da origen a emisiones importantes de antraceno, el cual presentó uno de los promedios más altos (57,7 ng/g) durante el período evaluado.

También se observó que los niveles encontrados para la Σ HAP durante el segundo muestreo del año 2009 en general disminuyeron en el 75 % de las estaciones con relación al primero, excepto para las estaciones 1 y 7 con 1,8 y 3,2 veces más altas, respectivamente. Y en esta ocasión, estas mismas estaciones aunadas a la estación 5 presentan los niveles más altos para la Σ HAP, reflejando el patrón esperado en el área, puesto que están ubicadas en puntos donde la actividad marítima es intensa, aunado a la descarga de ductos de aguas residuales domésticas de la población de Buenaventura.

Finalmente, en este componente se refleja que la bahía de Buenaventura está más expuesta a la contaminación por hidrocarburos con relación a la bahía de Tumaco como consecuencia de una mayor actividad marítima. Igualmente, la hidrodinámica que se presenta en Buenaventura no favorece la salida de sustancias desde el interior de la misma.

El 39,3 % de los valores de la relación referente a Fl entre la suma de Fl/(Fl+Pi), a través del 2007 y 2009, fue mayor a 0,5. Esto permite inferir que la fuente de HAP obedece principalmente a procesos de combustión

o pirólisis; y por ende, puede ser el producto de la combustión parcial llevada a cabo en motores de lanchas, pequeñas motonaves, buques y artefactos navales, consistente con la alta intensidad marítima en el área. El porcentaje restante refleja contaminación de origen petrogénico. De forma similar, al aplicar la relación antraceno entre antraceno más fenantreno, se corrobora una vez más que la mayoría de los valores en el área presenta un valor mayor a 0,1, indicando que su origen es debido a la combustión.

El 20,6 % de 272 registros, principalmente concerniente a BaPi, A y Fl superó los criterios establecidos en la directriz ISQG (Interim Sediment Quality Guideline, del Canadá), y de los referenciados en el Proyecto PNUD/Gefrla/99/G31 (FREPLATA, 2004), relativos a la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática. Después del N, el A y el Fl presentaron sus concentraciones promedio más altas dentro de los 16 HAP (figura 4.7)

Bahía Málaga

Las concentraciones detectadas para los 16 compuestos de interés en Bahía Málaga, en general fueron relativamente bajas a las obtenidas para el mismo período de estudio en las bahías de Tumaco y Buenaventura. Estas variaron entre niveles N.D y 121 ng/g. Este último valor correspondió al antraceno. La concentración promedio para el grupo de compuestos de dos y tres anillos detectados fue de 20,9 ng/g, y por ende los promedios más altos lo representan algunos compuestos de este grupo tales como el F, N y A (Figura 4.8). Para el grupo conformado por los compuestos de cinco y seis anillos fue de 7,0 ng/g.

Las relaciones obtenidas para antraceno entre antraceno más fenantreno (A/A+F), para la mayoría de las determinaciones fue mayor a 0,1. Esto indica que el origen de los residuos se asocia a la combustión. También la relación fenantreno entre antraceno (F/A), con valores menores a 15, corrobora que su origen se debe a la combustión.

Por otro lado, la relación fluoranteno entre la suma de fluoranteno más pireno (Fl/(Fl+Pi)) fue menor a 0,4. Esto implica que su origen se debe a derivados del petróleo, como consecuencia de posibles vertidos de combustibles y lubricantes en los motores de las embarcaciones que transitan por el área.

Tras lo anterior se expresa que en la bahía se presentan diversas fuentes asociadas a los residuos de HAP. Las concentraciones determinadas para la sumatoria de los 16 compuestos (Σ HAP) exhibieron valores comprendidos

entre 6,3 ng/g y 353,5 ng/g, con un valor promedio de 105,1 ng/g.

En general, los valores determinados para Bahía Málaga (Σ HAP) estuvieron por debajo de los límites establecidos por la directiva canadiense que a su vez están incluidos en los valores de referencia reportados en el proyecto PNUD/Gefrla/99/G31 (FREPLATA, 2004).

4.1.2 OTROS PARÁMETROS EN LA BAHÍA DE TUMACO

Los análisis siguientes concernientes a materia orgánica y HAP en organismos se basan en los resultados obtenidos entre los años 2005 y 2006, a través de tres monitoreos en seis estaciones ubicadas en los sectores de El Pajal y Candamo, de la ensenada de Tumaco.

4.1.2.1 Materia Orgánica y Carbono Orgánico

La materia introducida hacia el fondo de los ecosistemas estuarinos a través de ríos, aguas residuales domésticas e industriales y escorrentías, entre otras, sufre una serie de transformaciones químicas. La nitrificación es uno de estos procesos e implica la oxidación del amonio ($[\text{NH}_4]^+$) a nitrito ($[\text{NO}_2]^-$) y subsecuentemente a nitrato ($[\text{NO}_3]^-$). Estas transformaciones a estados más oxidados inducen un consumo de oxígeno, representando una fracción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5). Debido a la presencia de ecosistemas de bosque de manglar, los sedimentos del área se caracterizan, en general, por presentar alto contenido de materia orgánica, alcanzando valores de hasta el 23 %, con un promedio global del 12 %.

La importancia de la materia orgánica en la distribución de los organismos radica en que se constituye en fuente de energía tanto para bacterias heterotróficas como para organismos bentónicos de mayor tamaño. En fondos ricos en detrito orgánico, la microfauna, macrofauna, depredadores y omnívoros abundan a sus expensas.

En condiciones estuarinas el contenido de materia orgánica de los sedimentos es elevado, tal como lo reflejan los datos obtenidos; por consiguiente, el contenido de carbono orgánico es proporcional, y dichos valores estuvieron entre 2 y 13 % (Cccp, 2006).

4.1.2.2 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en organismos

La calidad de un ambiente acuático puede inferirse en base al análisis de bioindicadores de contaminación, tales como los moluscos bivalvos *A. tuberculosa*

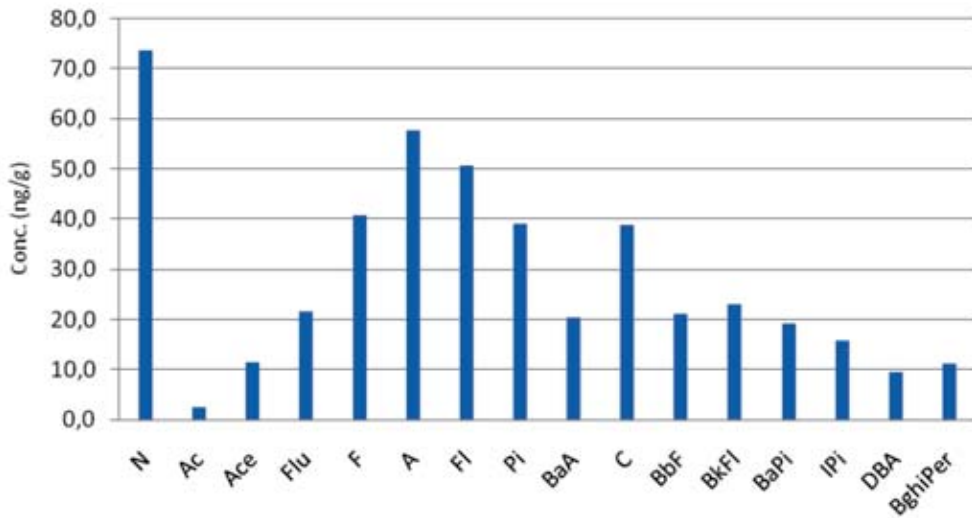


Figura 4.7 Concentraciones medias de HAP en sedimentos de la bahía de Buenaventura, años 2007 y 2009.

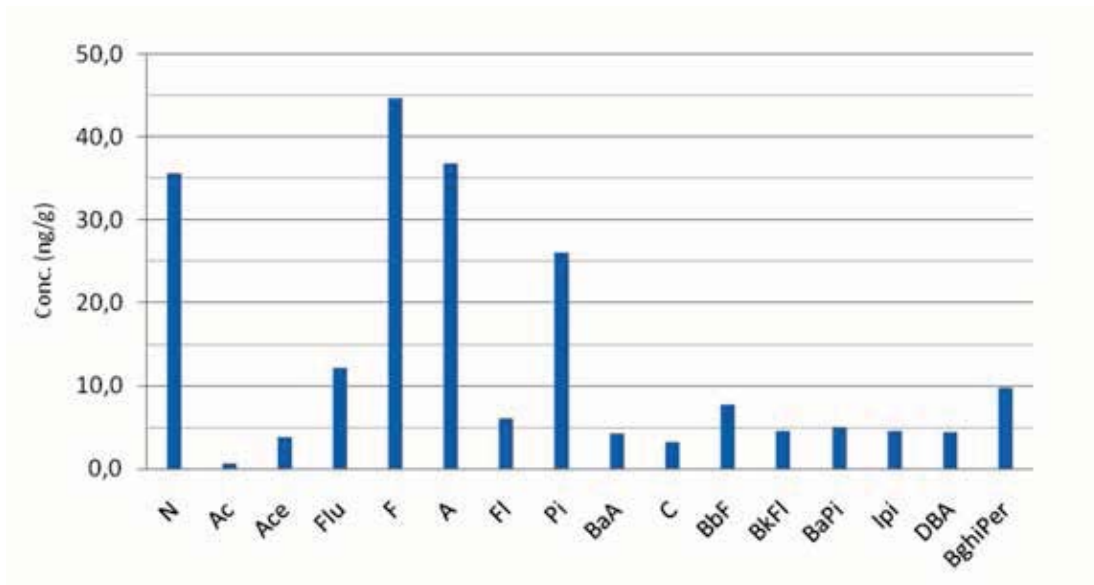


Figura 4.8 Concentraciones medias de HAP en sedimentos de Bahía Málaga, durante los años 2007 y 2009.

(Lauestein, 1995; Beliaeff *et al.*, 1997); puesto que pueden bioacumular una gran variedad de sustancias; sin embargo, los niveles dependen de varios factores fisiológicos de los organismos, tales como: contenido lipídico, sexo, edad, tamaño y estado de reproducción, entre otros. Asimismo, estos organismos son utilizados para predecir exposición, efectos y susceptibilidad ante la presencia de sustancias antropogénicas (Sericano *et al.*, 1995).

La toxicidad de los HAP para la vida acuática está influenciada por varios factores que incluyen la estructura molecular del compuesto; especie; etapa de vida del organismo; ruta y duración a la exposición; y condiciones ambientales tales como el contenido de materia orgánica en el sedimento, temperatura ambiente y luz.

Para los diferentes HAP, las concentraciones encontradas en bivalvos recolectados durante tres muestreos realizados entre mayo de 2005 y abril de 2006, en estaciones ubicadas en la ensenada de Tumaco, específicamente en los esteros de El Pajal y Candamo, estuvieron entre menores al límite de detección y 94 ng/g. Los niveles más bajos fueron para los compuestos de menor peso molecular, asimismo fueron los que aparecieron con mayor frecuencia. La sumatoria para la Σ HAP varió entre 5,8 y 376 ng/g. El 75 % de un total de 12 registros para la Σ HAP estuvo dentro de los niveles reportados por el Programa Internacional “Mussel Watch” de los Estados Unidos para bivalvos recolectados en la bahía de Tumaco, los cuales estuvieron por debajo 100 ng/g (Sericano *et al.*, 1995).

4.1.3 CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS

Los productos de protección de los cultivos o plaguicidas, son parte integral de la agricultura intensiva, la mayoría de ellos son compuestos orgánicos sintéticos, cuyas propiedades físicas y químicas varían ampliamente. En su afán de conseguir mejores cosechas el hombre ha sintetizado compuestos con diversos grupos funcionales, tales como: organofosforados (OF), organoclorados (OC), piretroides y carbamatos, lo cual les otorga a cada grupo comportamientos muy diferentes en el medio.

Los plaguicidas con mayor probabilidad de abandonar un punto de aplicación a través de la escorrentía, son los de aplicación foliar o superficial sin incorporación, que tienen altos índices de sorción ($K_{oc} > 1.000$), bajas solubilidades en agua y grandes períodos de vida media (Kiely, 1999). En este sentido los organoclorados son los más propensos a ser trasladados por las corrientes y

desagües hacia los sistemas costeros. Cuando los residuos alcanzan las aguas costeras y sistemas estuarinos, ocurren procesos de bioacumulación, bioconcentración y biomagnificación en la cadena trófica (Berg *et al.*, 1989), afectando a toda la biota por sus efectos carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos (Wurl & Obbard, 2005).

Los estudios sobre toxicidad y efectos cancerígenos de los compuestos organoclorados condujeron a la restricción en el uso de estas sustancias (Walker & Livingstone, 1992). En Colombia, insecticidas como el 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)-etano (DDT), HCH y lindano fueron prohibidos en 1978; el endrín en 1985 y el aldrín, heptacloro, dieldrín y clordano en 1988. Pese a esto, estudios realizados por Páez & Granada (1993), demostraron la utilización de endosulfan, aldrín y mirex en los cultivos de palma africana y DDT en la erradicación del mosquito transmisor de la malaria, en varias poblaciones de los ríos Caunapí y Mira (Nariño). Calero & Casanova (1997) reportaron para el Pacífico valores promedios de residuos de organoclorados (DDT y metabolitos) en sedimentos y organismos de 12,42 y 94,53 ng/g respectivamente, lo cual indicaba un importante proceso de bioacumulación de contaminantes.

La información más reciente se ha obtenido a través del monitoreo “Red de Vigilancia de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia” (Redcam), en el cual se han registrado, aproximadamente, y de manera sistemática desde el 2001, las concentraciones de algunos plaguicidas en aguas. La concentración de residuos de Organoclorados Totales (OCT), se obtuvo como la suma de las concentraciones de hexaclorociclohexanos (HCHs: α -HCH, β -HCH, γ -HCH, δ -HCH), heptacloros (HEPT: heptacloro y heptacloro epóxido), aldrines (ALD: aldrín, endrín y dieldrín), DDTs total (DDTs: pp-DDT, pp-DDE y pp-DDD); a partir del 2009 se incorporó el análisis de otros plaguicidas de uso actual entre los cuales se encuentran algunos órgano fosforados (como el clorpirifos) y piretroides como la permetrina (isómeros cis y trans), y se incrementó el número de compuestos analizados (Endosulfan y sus isómeros, mirex, endrín aldehído, endrín cetona y clordano). Debido al difícil acceso a la zona costera del Pacífico los monitoreos no cubren la totalidad del área costera. Los sitios donde se realizan los muestreos se presentan en la Figura 1.1

Al inicio del monitoreo solo se incluyeron plaguicidas organoclorados debido al gran riesgo que estos compuestos suponen para los ecosistemas ambientales y sus efectos adversos; sin embargo, como se mencionó anteriormente, se encuentran prohibidos en su uso y comercialización. Es quizás esta la razón por la cual la evaluación también muestra un descenso en la

Presencia de compuestos organoclorados

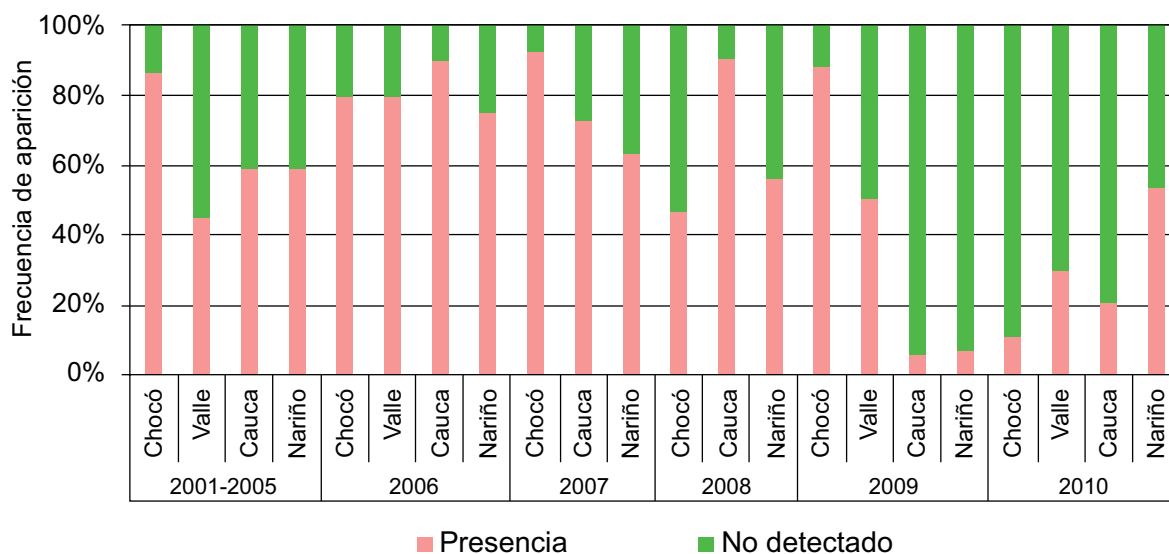


Figura 4.9 Porcentaje de muestras en las cuales fue detectada la presencia de compuestos organoclorados en el agua. (Tomado de la base de datos Redcam, 2011).

posibilidad de hallar dichos compuestos en el ambiente. Como se muestra en la Figura 4.9 hay un descenso en el número de muestras en las cuales se detecta algún compuesto clorado. El incremento que se presenta en el 2010 corresponde, básicamente, a la medición de otros compuestos que antes no eran objeto de estudio.

Con respecto a los compuestos presentes en el ambiente marino, los resultados indican que el DDT e isómeros y el aldrin son los compuestos que tienen mayor ocurrencia en las aguas del Pacífico colombiano (Figura 4.10), exhibiendo un porcentaje de aparición en el siguiente orden: DDT~ALD> HEPT> HCH tanto al inicio del monitoreo Redcam (2001-2005) (Invemar, 2005) como en los últimos años. Esta jerarquía en la presencia de moléculas se ha mantenido desde el inicio del monitoreo Redcam, sin embargo, en la actualidad se observa una reducción entre el 25 y 35 % en la presencia de DDT y aldrin en los últimos años.

Lo anterior pueden relacionarse con los usos de compuestos organoclorados en la zona; tal como lo indicaron Páez & Granada (1993), el DDT y el aldrin estuvieron entre los últimos ingredientes activos en dejar de usarse en la región, pese a que ya existían restricciones en su uso. También demuestran la presencia de residuos clorados en el ecosistema costero del Pacífico colombiano siendo importante determinar el origen de dichos residuos. Se sabe que la llanura Pacífica ha tenido escasa vocación agrícola, por lo cual se suponen otras actividades, además de la agricultura, como las fuentes

de estos compuestos, entre ellas el DDT en el control de vectores de malaria y el aldrin en la inmunización de la madera y el control de las hormigas.

En la mayor parte de la llanura Pacífica el desarrollo agrícola es incipiente, los cultivos son de pancoger y sólo abastecen el mercado local. Sin embargo, en esta región se destaca el monocultivo extensivo de palma africana, en donde en el departamento del Chocó existen 3.245 ha y en Nariño 28.000 ha, constituyéndose en los mayores productores del Pacífico colombiano (Pérez – Rincón, 2008). Asimismo, el cacao es uno de los principales cultivos de las parcelas agroforestales en la costa nariñense con cerca de 2.970 productores en un área de 9.440 ha, lo que corresponde al 11.5% del área total del país. (Cordeagropaz, 2006).

Adicionalmente, en la última década la proliferación de cultivos ilícitos en la llanura y en las laderas montañosas de la región Pacífica ha demandado la utilización de agroquímicos. Estos cultivos se han ubicado en sitios de difícil acceso, lo que hace imposible cuantificar su número exacto; pero están especialmente localizados en las cuencas de los ríos San Juan y Baudó en el Chocó, cuenca de los ríos Patía, Micay y Guapi en el Cauca, en el piedemonte de la cordillera occidental, y cuencas de los ríos Mira, Rosario y Chagüí, en el departamento de Nariño.

Con referencia a las concentraciones de plaguicidas, la Figura 4.11 presenta los valores máximos obtenidos

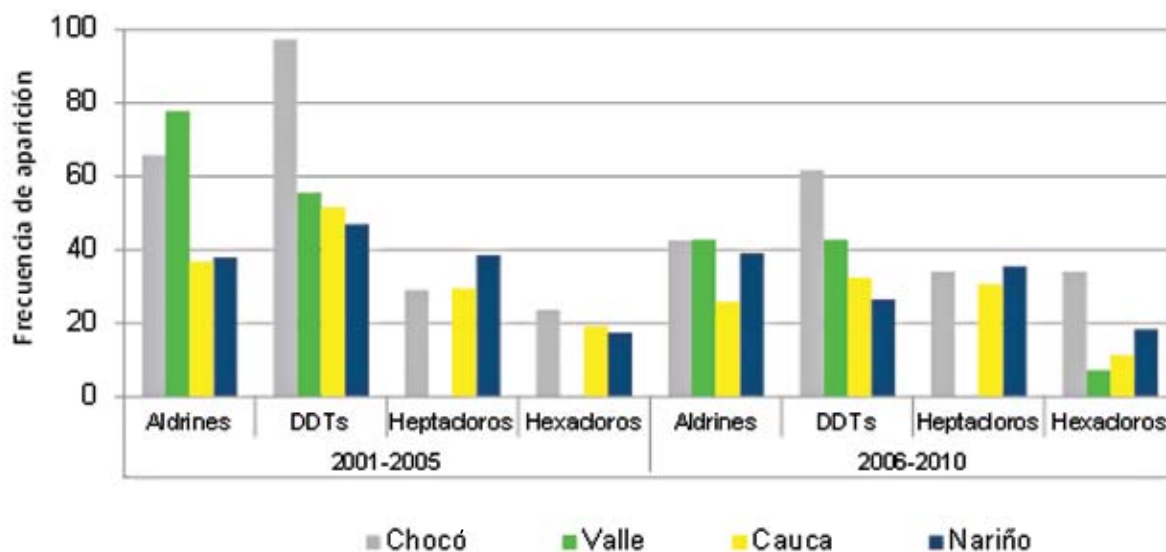


Figura 4.10 Porcentaje de aparición de los distintos grupos de compuestos organoclorados.

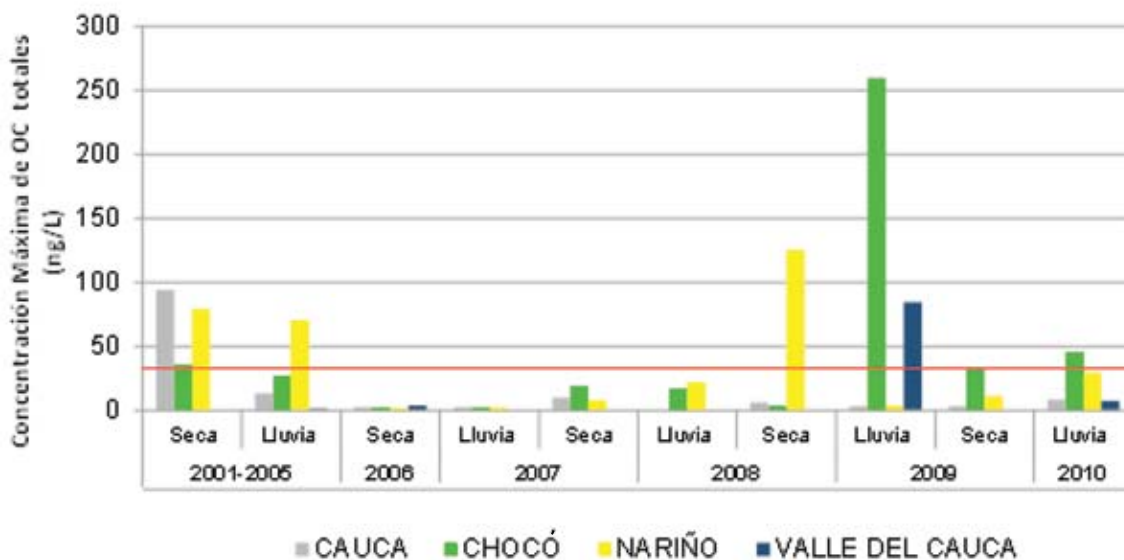


Figura 4.11 Concentración máxima de organoclorados totales (HCHs + HEPT + ALD+ DDT). A partir del 2009 los OCT incluyen la suma de endosulfan y sus isómeros, mirex, endrín aldehído, endrín cetona y clordano. La línea roja representa el nivel de referencia NEC para la suma de OCT.

en las aguas costeras, y brinda una idea de los niveles de plaguicidas hallados en la región. Hasta el 2008 se observaba un descenso en las concentraciones de plaguicidas, y en 2009 parece interrumpirse con un incremento bastante fuerte alcanzando una concentración máxima de 259 ng/L en el departamento del Chocó (Figura 4.11); sin embargo, a partir del 2009 se cuantificaron compuestos que antes estaban excluidos en el análisis (endosulfan y sus isómeros, mirex, endrin aldehído, endrin cetona y clordano) y por consiguiente el registro de organoclorados totales se incrementó, especialmente por la presencia de endosulfan y algunos metabolitos del aldrin.

La suma de los valores de referencia para efectos crónicos reportadas por Buchma (2008) para los cuatro grupos analizados corresponde a 30,4 ng/L (Tabla 4.11), concentración cercana a la establecida por Marín (2001), de 30 ng/L, como concentración de alto riesgo por contenido de plaguicidas para las aguas marinas colombianas. Al comparar los registros de plaguicidas en los cuatro departamentos con los valores de referencia anteriores, se encontró que existen sitios en los cuales las concentraciones de OC sobrepasan dichos niveles, significando un riesgo alto para los organismos, en especial los de vida sésil, donde se hacen más evidentes los procesos de bioacumulación tal como se registró en anteriores estudios (Casanova, 1996; Calero & Casanova, 1997).

Los registros de los últimos monitoreos indican que se siguen encontrando estos residuos. En la época lluviosa de 2009, el 5 % de las estaciones superaron el valor de referencia de 30 ng/L (Marín, 2001). En el departamento del Chocó, en el estero Tribugá (31,3 ng/L), la ensenada de Utría (33 ng/L) y el río Jella (45,7 ng/L) superaron este límite, lo cual obedece a descargas esporádicas y puntuales. Igualmente, su presencia y tendencia descendente en las concentraciones suponen que los suelos están drenando sustancias que fueron aplicadas hace tiempo y que aún se encuentran en el medio, debido a su baja capacidad de degradación. En

2010, se observó un incremento en las concentraciones de organoclorados en Nariño cercanos al valor de referencia destacando la importancia del monitoreo continuo de los plaguicidas en el departamento.

Igualmente, una comparación de los rangos de concentración obtenidos en el Pacífico indican que son relativamente altos, y comparables con los reportados en otras zonas costeras del país, cercanas a regiones agrícolas de mayor desarrollo, como ocurre en la Ciénaga Grande de Santa Marta (Magdalena) y la Ciénaga de la Virgen (Bolívar). El último estudio realizado en el Caribe entre 2008 y 2011 indica concentraciones de organoclorados en el orden de N.D – 207 ng/L para el endosulfan, N.D -13,3 ng/L para los HCH; nd – 12 ng/L, para el dieldrin; y N.D – 12ng/L, para el heptacloro (Espinosa & Betancourt, 2011).

Igualmente, análisis realizados en 1995 por la International Mussel Watch y la National Status and Trends (NS&T), reportaron para la bahía de Tumaco concentraciones para DDT total en bivalvos con valores comprendidos entre 10 y 100 ng/L mientras que en la bahía de Cartagena y la Ciénaga Grande las concentraciones fueron menores a 10 ng/L (Sericano *et al.*, 1995). Lo anterior significa que las concentraciones de OC en aguas del Pacífico también pudieron ser altas, o que fueron recurrentes en el tiempo.

En cuanto a los niveles de plaguicidas de uso actual, de los ocho compuestos analizados desde el 2009 (Diuron, Diazinon, Clorotalonil, Metil-Paration, Bromacil, clorpirifos, fenaminfos, Permetrina), se han detectado en la región Pacífica Permetrina y Metil-paratión en los departamentos de Cauca y Nariño respectivamente. Posiblemente relacionada con la aplicación doméstica de estos dos productos: el primero, como ingrediente activo de los plaguicidas comunes; y el segundo, de gran aplicación en el control de la malaria. En los sitios donde se hallaron los residuos de los dos plaguicidas (Tabla 4.2) las concentraciones superan el nivel capaz de producir NEC establecido en la literatura.

Tabla 4.1 Nivel de efectos crónicos (NEC) de compuestos organoclorados (ng/L) (Buchman, 2008).

| Compuesto | DDTs | Dieldrin | Aldrin | Endrin | Heptacloro | Heptacloro epóxido | HCH | Σsuma |
|-------------------|------|----------|--------|--------|------------|--------------------|-----|-------|
| NEC (ng/L) | 0,5 | 0,95 | 17 | 1,15 | 1,8 | 1,8 | 8 | 30,4 |

Tabla 4.2 Registro de plaguicidas (ng/L) de uso actual en aguas del Pacífico colombiano entre 2009 - 2010.

| Departamento | Cis-Permetrina | Metil Paration | Clorpirifos | Clorotalonil |
|---------------------|----------------|----------------|-------------|--------------|
| Chocó | N.D | N.D | N.D | N.D |
| Valle | N.D | N.D | N.D | N.D |
| Cauca | N.D - 19,0 | N.D | N.D | N.D |
| Nariño | N.D | N.D - 17,6 | N.D | N.D |
| NEC (Buchman, 2008) | 1 | 13 | 5,6 | 360 |

4.1.4 CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

El principal inconveniente que presentan los metales pesados en el medio ambiente es que, a diferencia de muchos contaminantes orgánicos, no se degradan por la actividad microbiana, por el contrario pueden ser enriquecidos por los organismos que a veces forman complejos órgano-metálicos. Algunos metales en su estado elemental al estar en concentraciones que sobrepasan los niveles naturales, provocan serios problemas ecológicos como resultado de procesos de bioacumulación y de biomagnificación a través de la cadena trófica (Ansari *et al.*, 2004).

Desde el punto de vista físico-químico, los metales pesados en solución están como iones metálicos acompañados por aniones inorgánicos, iones metálicos acompañados por ligandos orgánicos o inorgánicos, especies metálicas enlazadas a materiales de alto peso molecular, especies en forma de coloides dispersos y adsorbidos. Estos iones metálicos juegan un papel fundamental en los sistemas biológicos, son abundantes en la naturaleza y están disponibles en especies solubles (Ansari *et al.*, 2004).

Los metales pesados pueden ingresar a las zonas costeras por múltiples vías entre las que se pueden señalar la meteorización geológica, disposición de aguas residuales domésticas industriales y actividades como la minería, esta última de importancia para la región del Pacífico.

Cuando los metales llegan a zonas costeras, sufren varios procesos antes de depositarse. Estos procesos incluyen floculación, absorción por parte de organismos y posterior paso a la forma soluble. El comportamiento en los sistemas estuarinos es más complejo que en mar abierto debido a las características hidrodinámicas, a los amplios gradientes de composición química y las concentraciones variables de sólidos suspendidos, todos afectados ampliamente por las actividades humanas. Los procesos de sedimentación son lentos en mar abierto, mientras que en los sistemas estuarinos son extremadamente rápidos. Cuando un río entra al estuario

su velocidad de flujo disminuye y los sedimentos suspendidos se depositan (Chester, 1993).

En el Pacífico colombiano la minería se constituye en una fuente de contaminación por metales pesados, asociada principalmente al uso de mercurio, como en el departamento de Nariño, al suroccidente de Colombia, con explotaciones de oro tanto aluvial como de veta; las de tipo aluvial, se localizan en la Región Pacífica, asociadas a los recursos de los ríos Patía, Iscuandé, Mira y Telembí (UPME, 2006).

4.1.4.1 Monitoreo de Metales Pesados en el Agua

En el Pacífico colombiano las capitales de los departamentos se ubican hacia el interior de los mismos y solo existen dos áreas portuarias desarrolladas: la bahía de Buenaventura, en el Valle del Cauca; y la de Tumaco, en Nariño, constituyéndose en polos importantes para el desarrollo de la región, pero expuestos a diferentes fuentes de contaminación.

Desde el 2001, se viene haciendo seguimiento a la calidad de las aguas marinas y costeras del Pacífico y Caribe colombianos a través del sistema de monitoreo Redcam. Son dos monitoreos anuales (uno en época seca y otro en época lluviosa). Este programa cuenta con una red de 121 estaciones de muestreo para el Pacífico colombiano.

Los resultados muestran que en los cuatro departamentos que conforman el litoral Pacífico colombiano, existe un marcado desarrollo de actividades que son fuentes importantes de contaminación, como la industria maderera y la explotación minera.

Los niveles de riesgo para los ecosistemas costeros en cuanto a la presencia de metales pesados (Cd, Pb y Cr) son bajos, ya que las concentraciones están muy por debajo de los valores de referencia para efectos agudos en aguas superficiales marinas de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (210 µg Pb/L; 40 µg Cd/L; Buchman, 2008) y de legislaciones de países como Brasil (50 µg Cr/L; Conama, 1986). (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Comportamiento histórico de los rangos de concentración de cadmio, plomo y cromo en los departamentos de Chocó, Cauca y Nariño, Pacífico colombiano.

| Año Departamento | Cadmio µg/L | Cromo µg/L | Plomo µg/L |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 2007 | | | |
| Cauca | 0,08 - 1,70 | <LD - 1,05 | 5,14 - 34,50 |
| Chocó | <LD - 2,00 | <LD - 5,25 | 2,34 - 34,85 |
| Nariño | 0,17 - 1,50 | <LD - 2,15 | 1,33 - 29,15 |
| 2008 | | | |
| Cauca | <LD - 1,60 | <LD - 0,80 | <LD - 2,60 |
| Chocó | <LD - 0,33 | <LD - 2,25 | <LD |
| Nariño | 0,87 - 2,94 | <LD - 2,89 | <LD - 9,00 |
| 2009 | | | |
| Cauca | 0,35 - 0,75 | <LD | <LD - 4,25 |
| Chocó | 3,00 - 4,31 | <LD | <LD - 22,00 |
| Nariño | <LD - 0,79 | <LD | <LD - 4,90 |
| 2010 | | | |
| Cauca | <LD | <LD | <LD - 8,58 |
| Chocó | <LD - 0,53 | <LD - 0,93 | <LD - 4,27 |
| Nariño | <LD - 0,79 | <LD | <LD - 4,90 |

LD: Límite de detección del método analítico utilizado. **Fuente:** Base de Datos Redcam e Invemar, 2011.

Tabla 4.4 Comportamiento histórico de los rangos de concentración de cadmio, plomo y cromo en la zona de la bahía de Tumaco, departamento de Nariño, Pacífico colombiano (Tomado de la base de datos Redcam e Invemar, 2011).

| Estación | Cd (µg/L) | Cr (µg/L) | Pb (µg/L) |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Estero El Pajal | 0,82 ± 1,30 | 1,03 ± 1,29 | 0,20 ± 0,24 |
| Puente El Morro | 0,93 ± 1,07 | 0,77 ± 1,06 | 6,82 ± 10,42 |
| Puente El Pindo | 0,79 ± 0,96 | 1,15 ± 1,07 | 4,33 ± 7,55 |
| Río Chagüí | 0,88 ± 0,98 | 1,46 ± 1,69 | 5,10 ± 6,69 |
| Río Mejicano | 0,84 ± 1,14 | 1,43 ± 1,61 | 3,29 ± 2,35 |
| Río Rosario | 0,67 ± 1,04 | 1,75 ± 1,71 | 3,74 ± 5,83 |

En la Tabla 4.4, se muestra la concentración promedio y desviación estándar de los elementos analizados en una de las áreas de mayor desarrollo, la bahía de Tumaco, en el departamento de Nariño. Se puede evidenciar que el metal predominante ha sido el Pb, sin embargo la concentración promedio de este elemento y de los demás estudiados, están muy por debajo de los niveles considerados de riesgo por criterios internacionales (210 µg Pb/L; 40 µg Cd/L, Buchman, 2008; 50 µg Cr/L Conama, 1986), por lo cual se considera que no hay un riesgo potencial de estos contaminantes en la bahía de Tumaco.

4.1.4.2 Monitoreo de Metales Pesados en Sedimentos

Un sedimento es en términos generales todo material particulado, tanto depositado como en suspensión, incluido todo el material que se transporta hacia el cuerpo de agua (alóctono), o que se forma en el mismo (autóctono). Son una mezcla de diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos, minerales y fragmentos de rocas, que son transportados desde el continente hacia el mar por el viento, el hielo y los ríos, o se forman directamente en el mar como remanentes de organismos, precipitados químicos del agua de mar o como productos de la actividad volcánica en el fondo oceánico (Chester, 1993).

En los estudios ambientales, los metales pesados son principalmente monitoreados en sedimentos, ya que en general se considera que la movilidad de los metales pesados es muy baja y estos se van acumulando en los primeros centímetros del depósito sedimentario, siendo lixiviados a los horizontes subsuperficiales en muy pequeñas cantidades. Por esta razón, la presencia de altas concentraciones en el horizonte superficial seguida de un drástico descenso a los pocos centímetros de profundidad es un buen criterio de diagnóstico de contaminación antropogénica (Li *et al.*, 2007, Baena, 2010).

En el Pacífico colombiano no hay evaluaciones sistemáticas de contaminación por metales pesados en sedimentos. Solo se han desarrollado estudios puntuales y dispersos, principalmente emprendidos por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) que ha monitoreado el contenido de metales pesados en sedimentos de la bahía de Buenaventura desde el año 1998, y en los ríos que tributan a la bahía desde el 2005. Los resultados obtenidos hasta 2010 han mostrado que las concentraciones de Cu, Cr y Zn, en los sedimentos de la bahía de Buenaventura superan los valores indicados como riesgo en guías internacionales como la EPA (Environmental Protection Agency); las concentraciones de Pb y Ni están en el rango de contaminación moderada, y las de Cd y Hg están muy

por debajo de los niveles de riesgo (Baena, 2010).

A pesar del incipiente desarrollo industrial de la zona costera en el Pacífico colombiano, los resultados de los estudios realizados tanto en las aguas como en los sedimentos evidencian entradas de contaminantes como metales pesados, que se atribuyen primordialmente a las actividades de minería que se desarrollan en las cuencas de los ríos que tributan a la zona costera de los departamentos del Pacífico, por lo cual se debe mantener el monitoreo de estos elementos, especialmente en la matriz sedimentaria.

4.1.5 AGUA DE LASTRE

El uso de lastre es esencial para la seguridad y eficacia de las operaciones de navegación, proporcionando equilibrio y estabilidad a buques sin carga. El agua ha sido frecuentemente utilizada con este fin, por presentar mayor facilidad y economía en detrimento de lastre sólido, en forma de arena, piedras o metales muy utilizados en el pasado (Mallmann *et al.*, 2006)

El aumento del tráfico marítimo junto al uso de grandes buques ha hecho del agua de lastre el mecanismo más eficiente para la dispersión de organismos marinos (Souza *et al.*, 2001), sin analogías en el medio terrestre. El transporte de organismos indeseables en los tanques de lastre es causado por la presencia de estados planctónicos en el ciclo de vida de gran parte de organismos marinos, en forma de huevos, quistes o larvas y por la diversidad de bacterias, pequeños invertebrados y otros microorganismos marinos.

Por tal motivo, la transferencia de organismos nocivos a través del lastre de los buques de tráfico internacional, se ha identificado como una de las cuatro amenazas de contaminación al medio marino, así como causante de la pérdida de biodiversidad, desplazamiento de comunidades nativas, perjuicio a la salud humana y a los ecosistemas costeros. A diferencia de los derrames de hidrocarburos y otros tipos de contaminación marina causados por el tráfico marítimo y las especies marinas invasoras, no pueden ser depurados ni absorbidos por los océanos. Una vez introducidos son casi imposibles de eliminar y pueden causar graves daños (OMI, 1998).

El riesgo que representan las especies introducidas utilizando como vector las aguas de lastre de los buques de tráfico internacional (Hewitt *et al.*, 2007; Drake *et al.*, 2005), ha despertado el interés de organizaciones ambientales, investigadores, universidades, centros de investigación y órganos de control, entre otros, por los daños que estas han causado sobre la salud humana, los recursos pesqueros, la biodiversidad y las zonas costeras en general.

Es así como la Organización Marítima Internacional (OMI) a través de varias iniciativas, está trabajando para la gestión del agua de lastre. Dentro de estas iniciativas, se incluye la adopción de las directrices de la OMI para el control y manejo del agua de lastre con el fin de minimizar la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y patógenos, el desarrollo de un nuevo instrumento legal en el manejo de agua de lastre y proveer asistencia técnica a los países en vía de desarrollo a través de GEF/UNDP/OMI Global Ballast Water Management Programme (GloBallast). En Colombia, la Dimar como estado rector del puerto, es la entidad encargada de hacer cumplir la normatividad nacional e internacional tendiente a la preservación del medio marino, como la resolución A868 y la convención de Londres del 2004, generadas a través del Programa Globallast por la Organización Marítima Internacional (OMI).

En este sentido, en el año 2009 el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico- Cccp, inició el levantamiento de información, mediante monitoreos a los tanques de lastre de buques que arriban al Terminal Multiboyas de Ecopetrol, con el fin de contar con una línea base que se constituya, a mediano y largo plazo, en una herramienta clave para evaluar los posibles efectos como consecuencia de las descargas del agua de lastre en este ecosistema marino-costero. De esta manera, se trabajó bajo el enfoque de precaución promovido por el Convenio de Biodiversidad Biológica y de gestión de aguas de lastre, de modo que se pueda identificar oportunamente la presencia de especies potencialmente invasoras, que puedan generar impactos sobre la biodiversidad nativa del área y se tomen las medidas o se implementen los mecanismos adecuados para contener su establecimiento y distribución.

Para la caracterización del agua de lastre de buques de tráfico internacional que arribaron al Terminal Multiboyas de la bahía de Tumaco, se tomaron muestras de agua en 87 tanques para análisis físico-químico, planctónico y microbiológico, seleccionándose el método real de muestreo así (Figura 4.12):

- a. Identificación de métodos seguros y conformes con las operaciones de los buques.
- b. Acceso a los tanques de lastre a través de la apertura de escotillas (manholes), método de muestreo mayormente recomendado (Gollasch, 2003).
- c. El volumen de descarga y tiempo de residencia del agua en los tanques.



Figura 4.12 Toma de muestras para análisis físico-químico, microbiológico y biológico en los tanques de agua de lastre de buques de tráfico internacional.

Tabla 4.5 Abundancia (Ind/m³) de los grupos zooplanctónicos encontrados en agua de lastre de los buques de tráfico internacional.

| Grupos/Año | 2009 | 2010 | Total |
|--|--------|--------|--------|
| Mytilidae (<i>Mytilus sp</i>) | 2.778 | 2.000 | 4.778 |
| Bryozoa | 56 | 2.000 | 2.056 |
| Arcatiidae (<i>Acartia liljeborgi</i>) | 7 | | 7 |
| Arcatiidae (<i>Acartia sp</i>) | 389 | | 389 |
| Calanidae | 6.789 | 2.000 | 8.789 |
| Eucalanidae (<i>Eucalanus sp</i>) | 111 | | 111 |
| Temoridae (<i>Temora sp</i>) | 161 | | 161 |
| Corycaeidae (<i>Corycaeus sp</i>) | 262 | 2.000 | 2.262 |
| Oithonidae (<i>Oithona plumifera</i>) | 7 | | 7 |
| Oithonidae (<i>Oithona sp</i>) | 289 | | 289 |
| Grupos/Año | 2009 | 2010 | Total |
| Oncaeidae (<i>Oncaea sp</i>) | 9.340 | 4.000 | 13.340 |
| Euterpinae (<i>Euterpina acutifrons</i>) | 3.678 | 6.000 | 9.678 |
| Ectinosomatidae (<i>Microsetella sp</i>) | 611 | | 611 |
| Cladóceros (<i>Pseudevadne tergestina</i>) | 56 | | 56 |
| Chaetognatha (<i>Sagitta sp</i>) | 167 | | 167 |
| Gastropodo (<i>Larva veliger</i>) | 56 | | 56 |
| Nauplios Cirripedios | 1.600 | | 1.600 |
| Nauplios Copépodos | 17.118 | 8.000 | 25.118 |
| Ostracodo (<i>Cypris sp</i>) | 618 | | 618 |
| Spionidae (<i>Spionid sp</i>) | | 4.000 | 4.000 |
| Pterópodo (<i>Atlanta inflata</i>) | 56 | 2.050 | 2.106 |
| Zoea de Anomura | | 2.000 | 2.000 |
| Sicyoniidae (<i>Sicyonia sp</i>) | 56 | | 56 |
| Total | 44.201 | 34.050 | 78.251 |

4.1.5.1 Parámetros Físico-Químicos del Agua de Lastre

La temperatura del agua de los tanques de lastre de los buques registró valores que variaron entre 22,0 y 35,0 °C, con un valor promedio de $28,33 \pm 0,20$ °C. Los altos valores de temperatura reportados para los tanques quizás sean responsables del proceso de evaporación que eleva las salinidades. La salinidad del agua de los tanques de lastre de los buques registró valores comprendidos entre 5,50 y 34,80 con un valor promedio de $27,73 \pm 1,59$. Estos rangos expresan una barrera osmótica natural a la cual deben enfrentarse los organismos, en especial para aquellos organismos que no soportan cambios bruscos en los valores de salinidad (estenohalinos).

La concentración de amonio ($[\text{NH}_4]^+$) del agua de los tanques de lastre de los buques registró valores entre

0,16 y 8,64 μM , con un valor promedio de $1,36 \pm 0,30$ μM . La concentración de nitratos ($[\text{NO}_3^-]$) del agua de los tanques de lastre de los buques registró valores entre 0,14 – 42,53 μM , con un valor promedio de $2,77 \pm 0,99$ μM . La concentración de fosfatos ($[\text{PO}_4]^{-3}$) del agua de los tanques de lastre de los buques registró valores que oscilaron entre 0,07 – 1,34 μM , con un valor promedio de $0,40 \pm 0,04$ μM . La concentración de nitritos ($[\text{NO}_2^-]$) del agua de los tanques de lastre de los buques registró valores que oscilaron entre 0,03 – 0,95 μM , con un valor promedio de $0,13 \pm 0,02$ μM . La concentración de silicatos ($[\text{SiO}_3]^-$) del agua de los tanques de lastre de los buques registró valores que estuvieron entre 0,86 – 299,29 μM , con un valor promedio de $16,11 \pm 6,48$ μM . A partir de estos datos, es posible sugerir que la descarga de aguas de lastre por los buques se constituye en otra fuente de nutrientes para la bahía de Tumaco.

4.1.5.2 Caracterización Planctónica

4.1.5.2.1 Composición y abundancia del zooplancton

A partir del análisis cualitativo (taxonómico) y cuantitativo, se reportó un total de 78.251 Ind/m³, distribuidos en 12 grupos zooplanctónicos (Tabla 4.5). Se destacaron por su abundancia relativa los Copépodos con un 75%: Nauplios, 32%; Oncaeidae, 17%; Euterpinidae, 12%; Calanidae, 11% y Corycaeidae, 3%, seguidos por Mytilidae, 6%; Spionidae, 5%; Pterópodo, 3%; Bryozoa, 3%; Zoea de Anomura, 3%; Nauplios Cirripedios, 2%; y otros, 3%. Estos constituyen la población de organismos zooplanctónicos en el agua de lastre de los buques que arriban al terminal Multiboyas de Ecopetrol en la bahía de Tumaco. Las especies planctónicas encontradas en los tanques de agua de lastre han sido reportadas para la bahía Tumaco a excepción de la especie *Atlanta inflata*. La cantidad y abundancia zooplanctónica encontrada en el agua de lastre fue muy baja.

4.1.5.2.2 Composición y abundancia del fitoplancton

A partir del análisis cualitativo de las muestras de

fitoplancton se identificaron un total de 39 especies de fitoplancton (Tabla 4.6), pertenecientes a 25 géneros de cuatro grupos. De estos, las diatomeas representan el 95,83%, dinoflagelados el 2,26%, cianofíceas 2,7% y silicoflagelados el 0,2%; dentro del grupo de las diatomeas, se destacó por su abundancia relativa, la especie *Skeletonema costatum* y *Coscinodiscus sp*. En cuanto a los dinoflagelados, se destacó por su abundancia relativa la especie *Pyrocystis lunula*. Dentro de las cianofíceas se encontraron solo dos especies: *Oscillatoria sp* y *Arthrospira sp*. Del grupo de los silicoflagelados, solo se encontró una especie: la *Dictyocha fibula*. Las estructuras de resistencia encontradas para las aguas de lastre pertenecen al grupo de los dinoflagelados, sin poderse determinar la especie, ya que para esto se requiere del proceso de germinación de las mismas. La cantidad y abundancia en sí fue baja, pero resulta difícil afirmar que está situación es constante en toda el área de los tanques de lastre, ya que por gravedad estas tienden a acumularse en el fondo de estos compartimientos, y en la mayoría de los casos no es posible tomar muestras en el fondo de los tanques de agua de lastre.

Tabla 4.6 Abundancia (Cel/L) de grupos fitoplanctónicos encontrados en el agua de lastre de los buques de tráfico internacional.

| Grupos/Año | 2009 | 2010 | Total |
|-------------------------------|-------|--------|--------|
| DIATOMEAS | | | |
| <i>Bacteriastrum furcatum</i> | 1,13 | 6 | 7,13 |
| <i>Bacteriastrum hyalinum</i> | 0,24 | 2 | 2,24 |
| <i>Chaetoceros affinis</i> | 0,4 | 8 | 8,4 |
| <i>Chaetoceros laevis</i> | | 6 | 6 |
| <i>Chaetoceros peruvians</i> | 0,2 | 14 | 14,2 |
| <i>Chaetoceros sp1</i> | 3,88 | 4 | 7,88 |
| <i>Coscinodiscus sp1</i> | 11,73 | 652,55 | 664,28 |
| <i>Coscinodiscus sp2</i> | 0,14 | | 0,14 |
| <i>Coscinodiscus gigas</i> | 0,1 | | 0,1 |
| <i>Coscinodiscus granni</i> | 3,4 | | 3,4 |
| <i>Coscinodiscus wailessi</i> | 0,19 | | 0,19 |
| <i>Ditylum brightwellii</i> | 0,34 | 2 | 2,34 |
| <i>Guinardia flaccida</i> | 0,21 | 0 | 0,21 |
| <i>Guinardia sp1</i> | 4,83 | | 4,83 |
| <i>Hemiaulus hauckii</i> | 0,33 | | 0,33 |
| <i>Navicula sp</i> | 0,17 | | 0,17 |
| <i>Nitzschia sp</i> | 0,77 | | 0,77 |

| Grupo/Año | 2009 | 2010 | Total |
|------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| <i>Odontella mobilensis</i> | 0,06 | | 0,06 |
| <i>Odontella sinensis</i> | 0,47 | 16 | 16,47 |
| <i>Pleurosigma sp</i> | 1,99 | | 1,99 |
| <i>Planktoniella sol</i> | 0,14 | | 0,14 |
| <i>Pseudonitzschia sp</i> | 0,79 | 8 | 8,79 |
| <i>Rhizosolenia sp</i> | | 22 | 22 |
| <i>Rhizosolenia cf. Imbricata</i> | 0,21 | | 0,21 |
| <i>Rhizosolenia styliiformis</i> | 3,81 | 10 | 13,81 |
| <i>Skeletonema costatum</i> | 267,56 | 410 | 677,56 |
| <i>Stephanopyxis sp</i> | 0,4 | | 0,4 |
| <i>Thalassiotrix nitzschioides</i> | 1,93 | 8 | 9,93 |
| DINOFLAGELADOS | | | |
| <i>Ceratium fusus</i> | | 2 | 2 |
| <i>Ceratium furca</i> | 0,2 | 4 | 4,2 |
| <i>Ceratium Karsteni</i> | 0,33 | | 0,33 |
| <i>Dinophysis caudata</i> | 0,07 | | 0,07 |
| <i>Evolución Dinoflagelado</i> | 0,06 | | 0,06 |
| <i>Leptocylindricus danicus</i> | 0,63 | 0 | 0,63 |
| <i>Ornithocercus sp</i> | 0 | 0 | 0 |
| <i>Peridinium sp</i> | 0,39 | 0 | 0,39 |
| <i>Protoperidinium sp</i> | 0,39 | 0 | 0,39 |
| <i>Pyrocystis lumula</i> | 2,42 | 24 | 26,42 |
| <i>Quiste 5</i> | 0,2 | 0 | 0,2 |
| CIANOFÍCEAS | | | |
| <i>Arthrospira sp</i> | 0,27 | 0 | 0,27 |
| <i>Oscillatoria sp</i> | 26,47 | 0 | 26,47 |
| SILICOFLAGELADOS | | | |
| <i>Dictyocha fibula</i> | 0,69 | 2 | 2,69 |
| TOTAL | 337,58 | 1.200,55 | 1.538,13 |

4.1.5.3 Caracterización Microbiológica

Para evaluar la gestión del agua de lastre, la OMI estableció a *Escherichia coli*, *Enterococos intestinales* y *Vibrio cholerae* como indicadores de la calidad sanitaria del agua de lastre descargada. En este aspecto, la Regulación D-2 OMI del convenio establece que la descarga de agua de lastre, no deberá exceder la concentración de 250 Unidades Formadoras de Colonia (UFC) por 100 mililitros de agua para *Escherichia coli*, <100UFC sobre 100 mililitros para *Enterococos intestinales* y ausencia de *Vibrio cholerae*.

En esa temática, en el año 2010 se registró presencia de la *E. coli* en los 48 tanques de agua de lastre analizados, con un rango de 2UFC/100mL hasta 345UFC/100mL, registrando un 4,2 % de los tanques de buques por fuera del valor establecido por la regla D-2.

Por otro lado, la presencia de *Enterococos* fue del 8,3 % de los 48 tanques analizados, en un rango de 5 hasta 56UFC/100mL; teniendo en cuenta la normatividad se puede decir que: los 48 tanques cumplieron con este parámetro según la OMI (100UFC/100mL); y según EPA (<35UFC/100mL), el 2 % estuvo por fuera de lo establecido (Figura 4.13).

Con respecto a *V. cholerae*, el 63 % de los tanques de lastre sobrepasaron el límite establecido por la OMI (Figura 4.14). Esta bacteria puede sobrevivir en el

agua durante largos períodos de tiempo, incluso hasta cincuenta días cuando se asocia con algas o crustáceos marinos (Hidritec, 2007). De ahí que se convierte en una buena candidata en el transporte de agua de lastre y en un alto riesgo de afectación para la Bahía y la salud humana, constituyéndose en fuente adicional de contaminación.



Figura 4.14 Comportamiento de *Vibrio cholerae* en agua de lastre de buques internacionales que arribaron a la bahía de Tumacá, Pacífico colombiano.

Otros patógenos encontrados en agua de lastre fueron *Pseudomonas aeruginosa*, con un 18,8 % de crecimiento. De igual forma, se registró un 29,2 % de *Salmonella spp* y un 12,5 % de *Shigella spp*, lo que demuestra que estos géneros se encuentran ampliamente distribuidos en ecosistemas acuáticos, siendo capaces de tolerar diferentes condiciones ambientales (Figura 4.15).

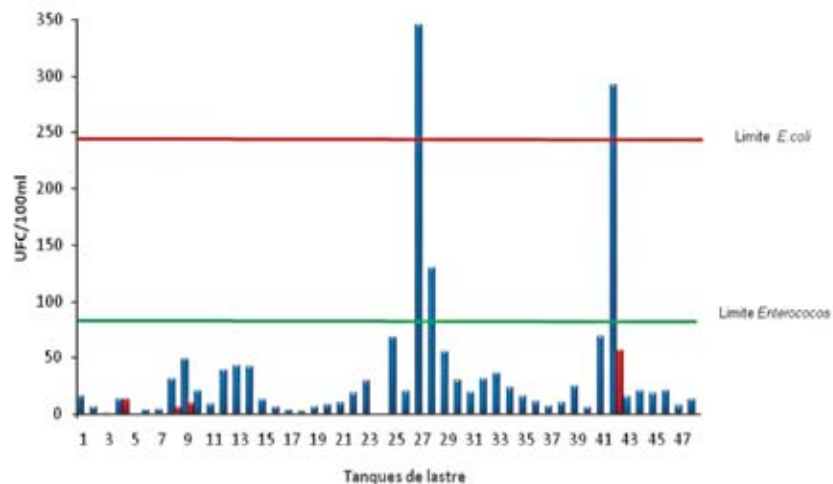


Figura 4.13 Tanques de lastre con los límites permisibles para *Escherichia coli* y *Enterococos*, según la Regulación D-2 de la OMI

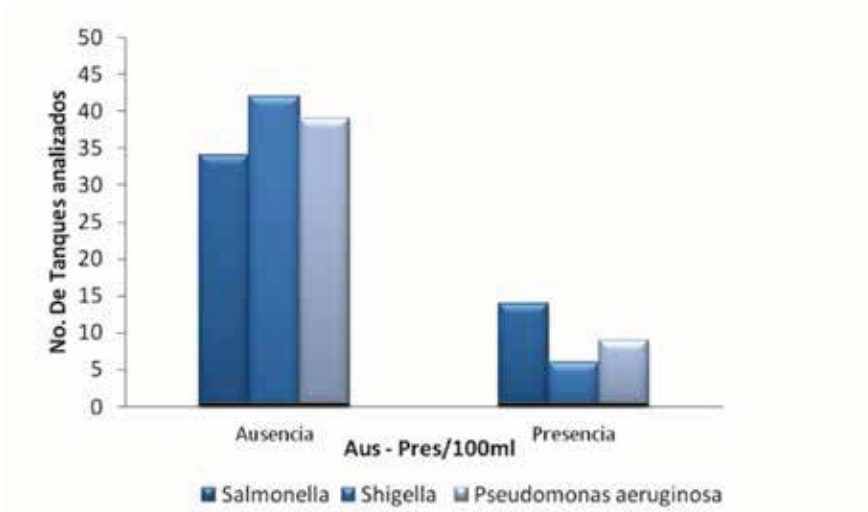


Figura 4.15 Comportamiento de otros patógenos reportados en los tanques de agua de lastre de los buques internacionales que arribaron a la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano.

4.2 CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es de gran importancia en la determinación de la calidad de la vida presente. Ésta es determinada por la cantidad de solutos y gases disueltos, como también por el material suspendido y flotante. En sí, es una consecuencia de la naturaleza física, química, y microbiológica del agua como también de cualquier alteración que pueda haber ocurrido como consecuencia de procesos naturales y/o actividades humanas.

Muchos parámetros contribuyen a la calidad del agua. En general incluyen: la cantidad de oxígeno disuelto, la concentración de nutrientes disponibles para la vida marina, la turbidez, el pH y concentración de materia orgánica, entre otros, en donde temperatura, salinidad, velocidad y dirección de las corrientes son parámetros que afectan la distribución y el impacto de las sustancias en un cuerpo de agua.

Nutrientes como el nitrógeno y el fósforo son absorbidos por los organismos únicamente en su forma disuelta, debido a que estas son las fracciones asimilables (Meadows, 1978). El nitrógeno llega al mar en forma de compuestos nitrogenados no asimilables, pero gracias a la acción de las bacterias y de las algas verde-azules durante el proceso de nitrificación, se transforman en nitrógeno soluble, representado principalmente por las formas iónicas de amonio ($[\text{NH}_4]^+$), nitratos ($[\text{NO}_3^-]$), nitritos ($[\text{NO}_2^-]$), de los cuales el amonio se asimila más fácilmente. En áreas costeras, el amonio presente en el agua es principalmente de origen terrestre, proveniente de aportes antropogénicos y afluentes de ríos, que arrastran materia orgánica y sustancias en descomposición hasta el océano.

En los ecosistemas costeros, el fitoplancton aprovecha la alta disponibilidad de nutrientes, y crece abundantemente; el cual a su vez es consumido por el zooplancton, y por tanto constituye la base de la cadena trófica. Asimismo, son la cuna de los recursos bióticos del mar. Naturalmente los nutrientes constituyen un factor positivo y esencial para los organismos marinos en las aguas costeras; sin embargo, la entrada excesiva de nutrientes conduce a problemas de eutrofización, proceso asociado con la proliferación de algas, y cuando estas mueren se hunden, y son degradados por microorganismos, conllevando a un agotamiento del oxígeno en el agua de mar, y las bajas concentraciones de oxígeno pueden acarrear la muerte a gran escala de la biota existente.

Las bahías del Pacífico colombiano tienen una gran capacidad de autodepuración frente a las cargas que reciben de contaminantes con características biodegradables, que se generan principalmente en tierra. Si la descarga continua de contaminantes rebasa las ratas de asimilación de estos ecosistemas, estos podrían colapsar al no poder degradarlos.

De forma similar, también llegan contaminantes con propiedades tóxicas que afrontan diferentes vías de asimilación y transformación dentro de los ecosistemas, que están dadas por su naturaleza; también es importante la concentración que el compuesto alcance en el medio, pues a partir de ciertos niveles se causan efectos adversos sobre la biota. Sin embargo, los límites entre las concentraciones que no generan efectos adversos y aquellas que sí lo hacen son difíciles de determinar dado la complejidad de procesos en estos cuerpos de agua, que conllevan los tóxicos a moverse a través de la red trófica mediante procesos de bioacumulación, biomagnificación y otros.

4.2.1 ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BAHÍA DE TUMACO

La información tratada para este componente corresponde a la obtenida por el Cccp, a través de 11 muestreos durante el período 2005 y 2010 (Figura 1.1); y el análisis está centrado en los registros obtenidos durante el período de marea baja, puesto que es donde, generalmente, las condiciones físico-químicas se pronuncian y/o alteran negativamente la calidad del agua.

La bahía de Tumaco es un ecosistema estuarino en donde interactúa una mezcla compleja de factores asociados a los ciclos mareales y a frecuentes fenómenos meteorológicos que conllevan a una variabilidad permanente en los valores de parámetros físicos y químicos en las diferentes escalas de tiempo y espacio. A las variaciones como resultado de los fenómenos naturales, se suman los cambios causados por la intervención humana, asociados a vertimientos de materiales a través de: aguas residuales domésticas, actividades industriales, agrícolas, marítimas y portuarias, entre otras.

Problemas de contaminación serios en la Bahía como consecuencia del enriquecimiento de nutrientes que conlleva a la eutrofización, no se han presentado; sin embargo, en forma puntual se ha observado alteraciones relacionadas con estados de hipoxia, como en el caso específico del sector adyacente al puente El Pindo, durante marea baja, debido a la sinergia de residuos y materiales que se originan producto de varias actividades

que se presentan en el área, tales como: aguas residuales domésticas, presencia de aserrín (Figura 4.16) y sustancias oleosas desde las estaciones de expendio de combustible.

4.2.1.1 Transparencia.

La Bahía se caracteriza por presentar aguas de menor transparencia hacia el sector Este (estaciones 20, 23 y 26), en donde los ríos descargan materiales diversos que transportan desde tierra, así como el aporte de sustancias y pigmentos liberados por la vegetación circundante, asociada a bosques de manglar. La mayor transparencia se presenta hacia el sector Oeste (de influencia oceánica - estación 18). Allí los valores de la transparencia se encontraron entre 0,2 m y 6,0 m (Figura 4.17) con un promedio de 1,6 m.



Figura 4. 16 Panorámica del sector del puente El Pindo durante el período de marea baja, Tumaco.

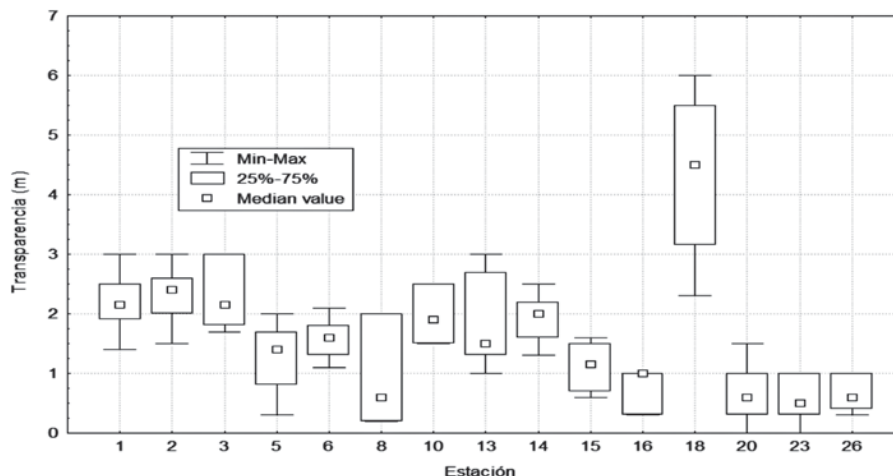


Figura 4.17 Variabilidad de la transparencia en las estaciones de muestreo durante marea baja.

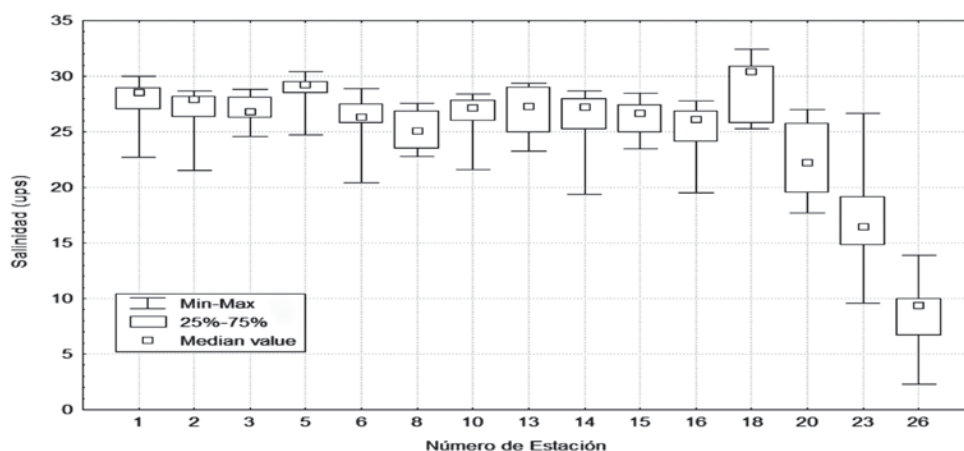


Figura 4.18 Variabilidad de la salinidad en las estaciones de muestreo durante marea baja.

4.2.1.2 Salinidad

En la Bahía la salinidad presenta una alta variabilidad espacial. El patrón de distribución muestra una dependencia directa en función de la altura de la marea, los valores se registran entre 2,3 y 32,4 ups. Los máximos valores de salinidad se encuentran en las estaciones de mayor influencia oceánica, en tanto que los mínimos valores están hacia el sector adyacente a las desembocaduras de los ríos Rosario, Mejicano y Tablones (estación 23), y en la boca del estero La Coba (brazo del río Mira - estación 26), y también presenta la mayor variabilidad (figura 4.18). La salinidad en la bahía de Tumaco dentro de las series Talásica va desde mesohalinas hasta polihalinas.

4.2.1.3 Temperatura

Es una variable de alta influencia en las concentraciones de las sustancias y de los equilibrios en los procesos biogeoquímicos; y, por ende, de las condiciones de naturales de un ecosistema acuático.

Este parámetro varió entre 21,3 °C y 31,0 °C, con un promedio de 26,4 °C. La temperatura del agua generalmente durante el primer semestre del año presenta valores ligeramente más bajos, asociada con la temporada de invierno; en tanto que durante el segundo semestre las temperaturas son superiores. Los valores más altos de temperatura generalmente se presentan hacia el borde costero, independientemente del período mareal.

4.2.1.4 Sólidos Suspendidos

Las fuentes radican en el aporte antropogénico y la carga transportada a través de ríos que desembocan en la Bahía. Por ejemplo, el río Mejicano, ubicado hacia el interior de la Bahía, aporta una carga de sólidos suspendidos de alrededor de 310.444 t/año (Garay *et al.*, 2006); por ende las concentraciones más altas se encuentran en áreas adyacentes a las desembocaduras de los ríos. También puede ocurrir que por efectos de turbulencias y oleaje se presente remoción de materiales desde el fondo como se da en el sector adyacente a las estaciones 20 y 23, en donde se forman bancos de arena que durante el período de marea baja quedan descubiertos y cuando la marea sube existe una remoción de estos materiales. Situación similar se presenta a lo largo del Pacífico colombiano (Figura 4.19).



Figura 4.19 Turbulencia que genera remoción continua de sólidos suspendidos en el sector cercano a la desembocadura de los ríos.

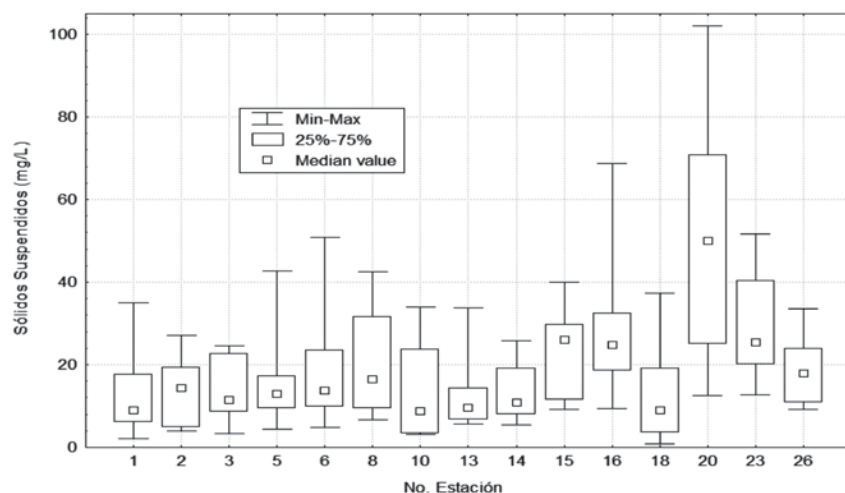


Figura 4.20 Variabilidad para los Sólidos Suspendedos en las estaciones durante la marea baja.

Las concentraciones de sólidos suspendidos determinadas a través de los monitoreos variaron entre menores a 3 mg/L y 100 mg/L aproximadamente (Figura 4.20). La aglomeración en el tiempo de estos materiales transforma continuamente la dinámica costera de la Bahía.

4.2.1.5 El pH.

Los valores se registraron entre 6,92 y 8,43, con un promedio de 8,05 (Figura 4.21); incluyéndose dentro del rango (6,5 – 8,5) establecido como criterio de calidad admisible para la destinación del recurso, para la preservación de flora y fauna en aguas marinas o estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984). A través del tiempo, el comportamiento espacial del pH, siempre ha mostrado valores más bajos en cercanía a la desembocadura de los ríos, puesto que en estos sitios se pronuncia la formación de ácido carbónico, como producto de la reacción entre el agua y el dióxido de carbono (CO₂) productos de la degradación de materiales orgánicos que llegan a través de los ríos.

4.2.1.6 Oxígeno Disuelto

Este es uno de los parámetros más importantes para evaluar la calidad del agua. Niveles de Oxígeno Disuelto (OD) por encima de 4 mg O₂/L favorecen el crecimiento de especies marinas, mientras que niveles entre 1 y 3 mg O₂/L indican condiciones de hipoxia, perjudiciales para la vida marina. Y niveles por debajo de 1 mgO₂/L indican anoxia, una condición en la cual ninguna vida que requiere de oxígeno puede soportar (EPA, 2002).

En la Bahía, los niveles de oxígeno son alterados por factores dinámicos y meteorológicos, como también por

la actividad fotosintética, la salinidad y concentración de sólidos en todas sus manifestaciones. Las concentraciones se presentaron en el rango comprendido entre 3,65 y 7,12 mg O₂/L, con un promedio de 5,87 mg O₂/L (Figura 4.22).

4.2.1.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

Las concentraciones estuvieron entre 0,33 mg O₂/L y 3,11 mg O₂/L. Los niveles más altos se presentan durante el período de marea baja, como consecuencia de un aumento de la concentración de las sustancias que llegan a la Bahía; y por ende en las estaciones de influencia directa de vertimientos asociados con la población (Estación 8) y/o descargas de ríos (Estación 23), fueron donde los valores para la DBO5 estuvieron próximos al límite 2,0 mg O₂/L (Figura 4.22), establecido como máximo para estuarios no contaminados (Clark, 1986; Kiely, 1999). Algunas organizaciones, como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, establece un nivel máximo de 5 mg O₂/L para aguas no contaminadas (EPA, 2002). Sin embargo, el valor promedio obtenido durante el periodo evaluado fue de 1,11 mg O₂/L (Figura 4.23), por lo que se puede afirmar que la calidad del agua de la Bahía es buena, resaltando el papel transcendental que juega el régimen mareal periódico. Este diluye y/o retira mar adentro la carga permanente de materiales que llegan a la Bahía.

4.2.1.8 Oxidabilidad Química de la Materia Orgánica Total

Parámetro asociado a la estimación de la materia orgánica (MO), y estrechamente relacionado con la DBO5.

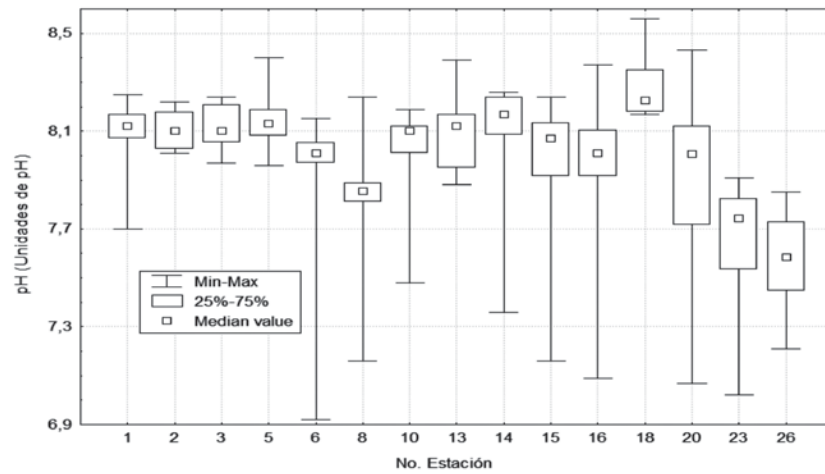


Figura 4.21 Variabilidad para el pH en las estaciones durante la marea baja.

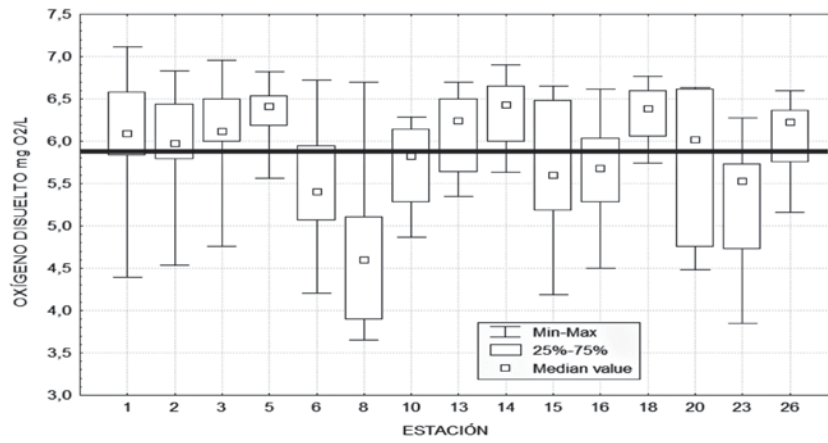


Figura 4.22 Variabilidad de OD en las estaciones durante la marea baja.

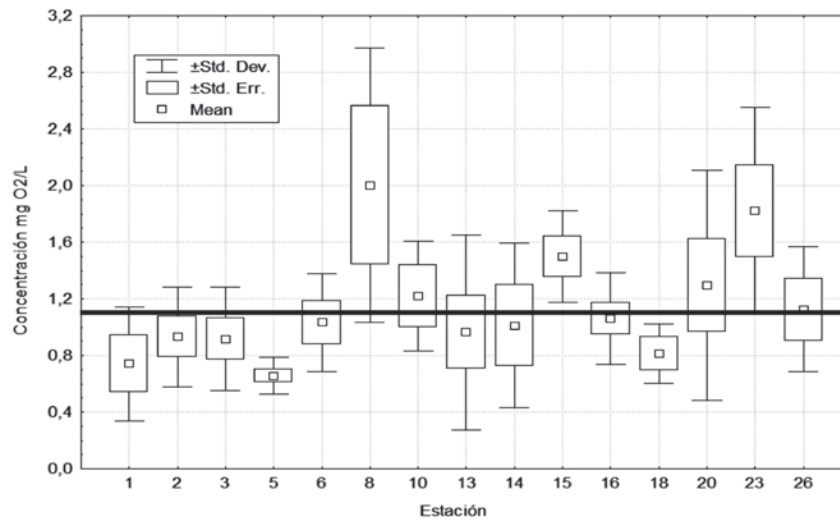


Figura 4.23 Variabilidad de la DBO5 en las estaciones de muestreo.

La materia orgánica puede ser de características fácilmente biodegradables o exhibir resistencia a este proceso; situaciones que corroboran estas particularidades se han presentado en la Bahía, en donde muestras con valores altos de materia orgánica total presentaron valores bajos de DBO5 (Figura 4.24). Esto prácticamente depende del grado de facilidad o dificultad para atacar las estructuras químicas de las sustancias por parte de los organismos, especializados u oportunistas, en sus procesos bioquímicos al consumir la materia orgánica presente en el agua. La relación de MO a DBO5 fue de 2,56, lo que puede catalogarse como moderadamente biodegradable.

La materia orgánica que ingresa a la Bahía puede estar en forma disuelta y/o particulada, por ende hacia el sector de la desembocadura de los ríos se encuentra adsorbida sobre las partículas en suspensión que llegan a través de estos, tomando las áreas adyacentes con las

concentraciones relativamente más altas en la Bahía, específicamente las estaciones 16, 20 y 23, con 3,4; 4,6 y 4,1 mg O₂/L, respectivamente; siguiendo las estaciones 8, 26 y 6 con 3,3; 3,2 y 2,8 mg O₂/L, correspondientemente, estas como consecuencia de estar influenciadas por aguas vertidas de la población ubicada en la isla Tumaco (Figura 4.25). Los valores de materia orgánica total registrados en la Bahía estuvieron entre 1,0 y 7,2 mg O₂/L, con un promedio de 2,8 mg O₂/L. Cabe resaltar que temporalmente no se ha observado una tendencia definida de aumento o disminución de este parámetro.

También se corroboró una ligera correlación inversa entre la oxidabilidad química de la materia orgánica y la concentración de oxígeno disuelto. La alta dispersión de los valores refleja la dinámica del oxígeno en los diferentes procesos biogeoquímicos y físicos, comprometidos en el balance de producción y consumo de materia y/o energía en el ecosistema acuático.

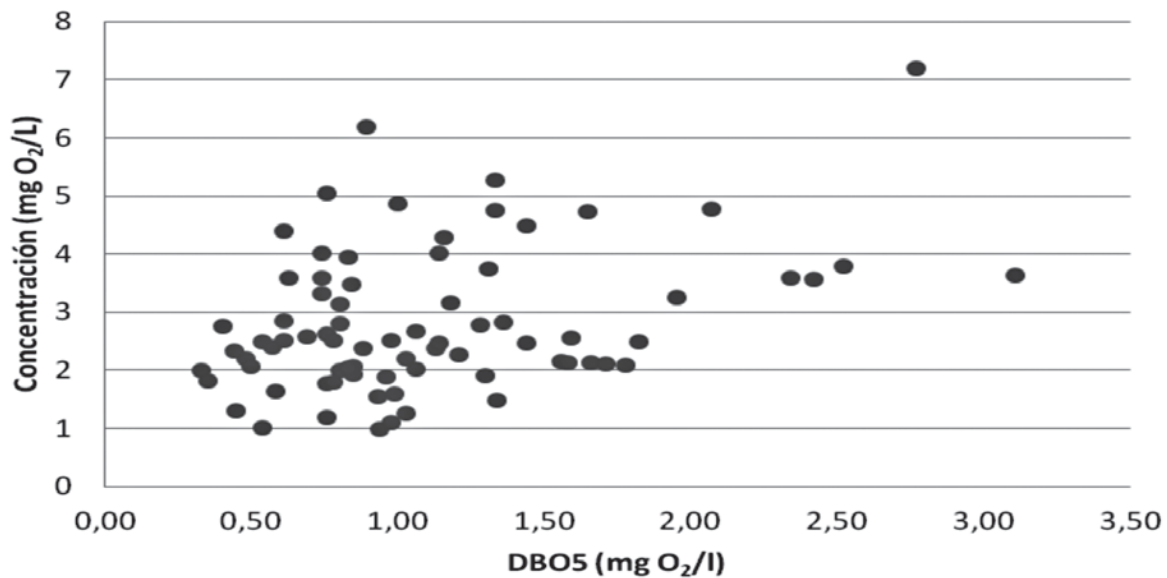


Figura 4.24 Correlación entre la Oxidabilidad Química de la Materia Orgánica y DBO5.

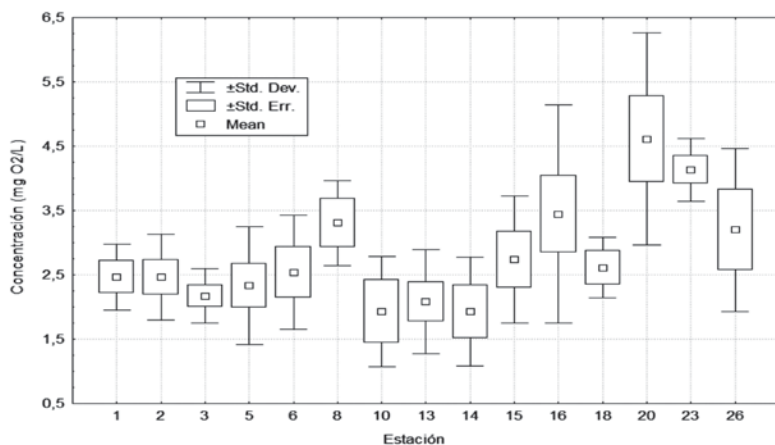


Figura 4.25 Variabilidad de la oxidabilidad de la materia orgánica en las estaciones de muestreo.

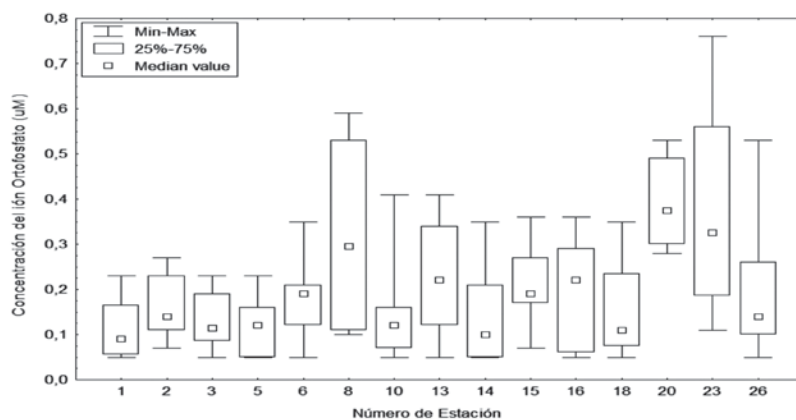


Figura 4.26 Variabilidad de las concentraciones del ión ortofosfato durante la marea baja en la bahía de Tumaco.

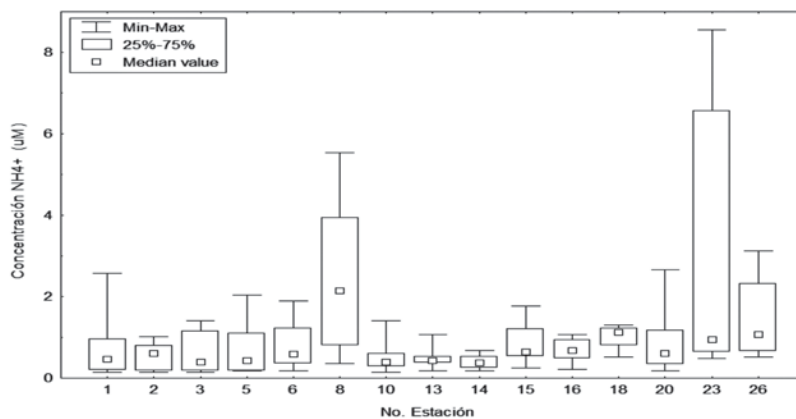


Figura 4.27 Variabilidad de los niveles de amonio durante la marea baja para la bahía de Tumaco.

4.2.1.9 Nutrientes

El nitrógeno y el fósforo son parámetros claves de la calidad del agua en los ecosistemas costeros. Estos pueden contribuir a problemas tales como bajos niveles de oxígeno disuelto y a la eutrofización acelerada. El exceso de nutrientes también puede provocar la aparición de algas tóxicas. Sin embargo, estos efectos adversos dependen de otros factores además de los niveles de nutrientes (EPA, 2002).

Los niveles para el ión ortofosfato estuvieron entre menores del límite de detección ($0,06 \mu\text{g.at P}-(\text{PO}_4)^{3-}/\text{L}$) y $0,76 \mu\text{g.at P}-(\text{PO}_4)^{3-}/\text{L}$, con un promedio de $0,20 \mu\text{g.at P}-(\text{PO}_4)^{3-}/\text{L}$; esto puede ser una consecuencia del consumo de una demanda por parte de la productividad primaria. La estación que presentó el valor promedio más alto fue la número 20 con $0,39 \mu\text{g.at P}-(\text{PO}_4)^{3-}/\text{L}$ (Figura 4.26), encontrándose dentro los niveles referenciados por la NOAA a nivel superficial para el océano Pacífico ecuatorial en donde están entre N.D y $2,0 \mu\text{g.at P}-(\text{PO}_4)^{3-}/\text{L}$. Según Margalef (1983) en mares fértiles puede alcanzar hasta $1,6 \mu\text{g.at.P/L}$.

El nitrógeno amoniacal ($[\text{NH}_4]^+$) en los ecosistemas acuáticos es producto de la descomposición de la materia organonitrogenada y de intercambio de gases con la atmósfera. Normalmente las concentraciones más altas se encuentran en los puntos de descargas de aguas residuales domésticas y/o ríos, y presentan un gradiente de disminución mar adentro, como es el caso típico de las bahías de Tumaco y Buenaventura.

En la bahía de Tumaco, las concentraciones para el amonio durante el período tratado estuvieron comprendidas entre valores menores a $0,3$, y $8,55 \mu\text{g.at.N}-(\text{NH}_4)^+/L$ (Figura 4.27), con un promedio de $1,05 \mu\text{g.at.N}-(\text{NH}_4)^+/L$.

A través de los diferentes estudios realizados en la bahía de Tumaco, pocas veces los niveles de amonio han sido superados por los de nitritos; siempre ha mostrado un comportamiento no conservativo debido al proceso de nitrificación.

El nitrato y el nitrito se forman durante la descomposición bioquímica de nitrógeno amoniacal. En la región, estos se presentan en los fertilizantes aplicados en cultivos de plantaciones de palma africana, alcanzando el mar por

escorrentías y ríos; de ahí que en las desembocaduras se encuentren los más altos niveles de nitrógeno amoniacal.

Los niveles de nitratos estuvieron entre $<0,11$ y $11,64 \mu\text{g.at.N}-(\text{NO}_3)^-/L$. Según la NOAA, los valores para el Pacífico ecuatorial a nivel superficial pueden llegar hasta $22 \mu\text{g.at.N}-(\text{NO}_3)^-/L$. Asimismo, Carpenter (1983) considera que en estuarios con bajos nutrientes los valores de nitratos están en el rango de 10 a $40 \mu\text{g.at.N}-(\text{NO}_3)^-/L$, y decrecen linealmente hasta acercarse a cero en el límite salino del estuario, tal como ocurre en la bahía de Tumaco.

Las concentraciones de nitritos en la Bahía variaron entre el LD del método ($0,03 \mu\text{g.at.N}-(\text{NO}_2)^-/L$) y $1,25 \mu\text{g.at.N}-(\text{NO}_2)^-/L$, siendo bajas debido a la alta inestabilidad de esta forma del nitrógeno, puesto que se oxida rápidamente a nitrato. La concentración media obtenida para marea baja fue de $0,14 \mu\text{g.at.N}-(\text{NO}_2)^-/L$.

Los niveles de nutrientes determinados para la bahía de Tumaco no superan los límites reportados en la literatura para este tipo de ecosistemas, aún cuando los aportes de nutrientes a través de ríos y desde la población son incesantes. La Bahía está favorecida por diferentes factores que conllevan a un proceso de autodepuración continua; y no se ha observado en el tiempo una tendencia definida de aumento o disminución de nutrientes.

4.2.1.10 Índices Tróficos

Con base en el índice trófico (I) determinado, de acuerdo al propuesto por Karydis *et al* (1983), en las estaciones monitoreadas entre el año 2005 y 2010, se clasificó los ecosistemas en las siguientes categorías: altamente eutrófico ($I > 5$), mesotrófico (I entre 3 a 5) y oligotrófico ($I < 3$).

El I para los nutrientes (amonio, nitritos más nitratos y fosfatos) se comportó de manera homogénea, así que los valores determinados se encontraron en el rango de un sistema oligotrófico para estos nutrientes en la mayoría de las estaciones, extendiéndose a mesotrófico y eutrófico para las estaciones 8, 20, 23 y 26 para los nitrogenados (Figura 4.28), hecho asociado principalmente a la influencia directa de materiales transportados a través de los ríos.

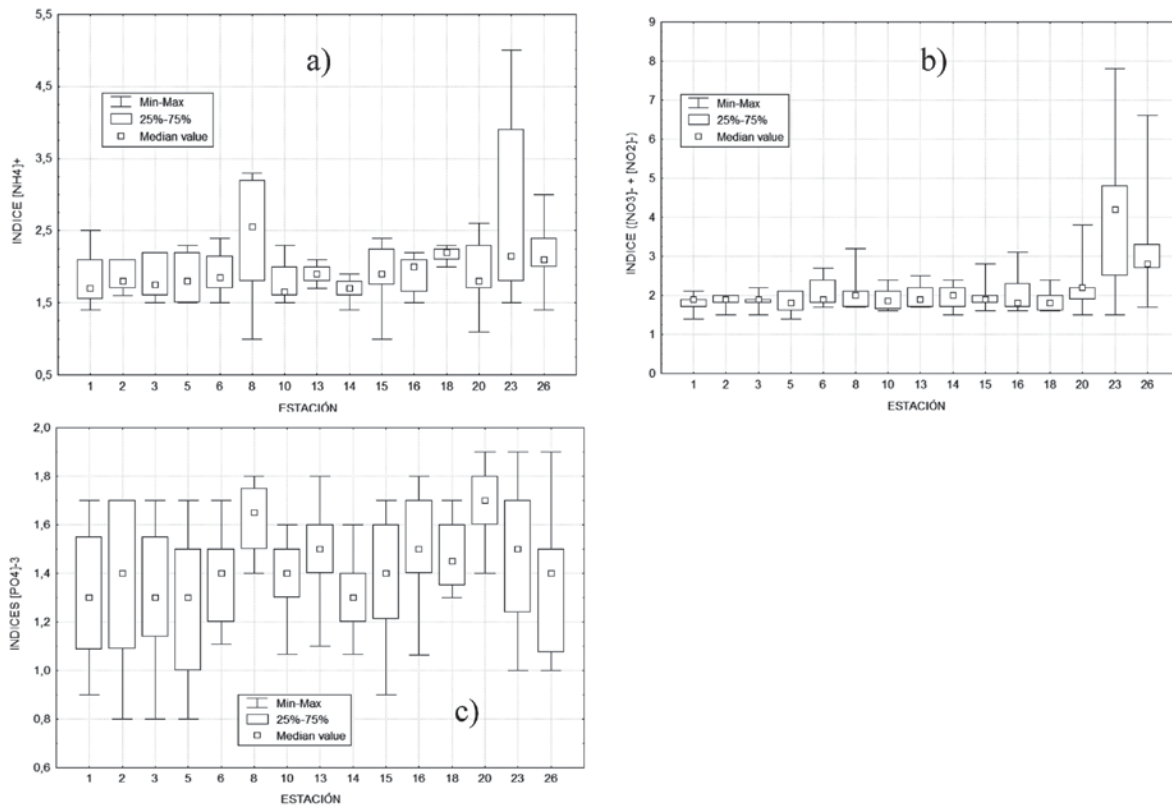


Figura 4.28 Variabilidad de los índices tróficos para a) el ión amonio b) nitritos + nitratos y c) fosfatos de las estaciones de muestreo.

4.2.2 OTROS TÓPICOS EN LA BAHÍA DE TUMACO

4.2.2.1 Seguimiento de parámetros físico-químicos durante 24 horas en la bahía de Tumaco

La bahía de Tumaco es un ecosistema dinámico altamente sensible que está influenciado por diversos factores, entre ellos el régimen mareal, condiciones meteorológicas, aportes terrestres, fenómeno de El Niño y actividades antrópicas. Teniendo en cuenta lo anterior, y con el fin de identificar la variabilidad de los parámetros físico-químicos indicadores de la calidad del agua como una consecuencia de la interacción de los factores antes mencionados, durante el año 2008 se realizó un seguimiento de 24 horas en dos estaciones adyacentes a las islas de Tumaco y El Morro. Los parámetros monitoreados fueron: conductividad, clorofila a, DBO5, materia orgánica, nutrientes (amonio, fosfatos, nitratos, nitritos y silicatos), oxígeno disuelto, pH, salinidad,

sólidos suspendidos, temperatura superficial del mar (TSM), temperatura ambiente y transparencia (Cccp, 2008a).

Las estaciones de muestreo fueron seleccionadas con el fin de realizar una comparación entre el agua con mayor grado de afectación por vertimientos domésticos (estación 6), y con menor influencia de contaminantes como la estación 2 (Figura 4.29).

Los valores medidos de pH para el seguimiento realizado en el segundo semestre oscilaron entre 7,83 y 8,90 para la estación 2; y entre 7,69 y 8,80 para la estación 6 (Figura 4.30); mientras que durante el primer ejercicio, los valores variaron entre 7,84 y 8,32 para la estación 2; y entre 7,83 y 8,31 para la estación 6. Estos valores de pH encontrados durante el monitoreo de 24 horas muestran un comportamiento ligeramente básico, con valores acordes al rango de pH establecido previamente para la bahía de Tumaco.

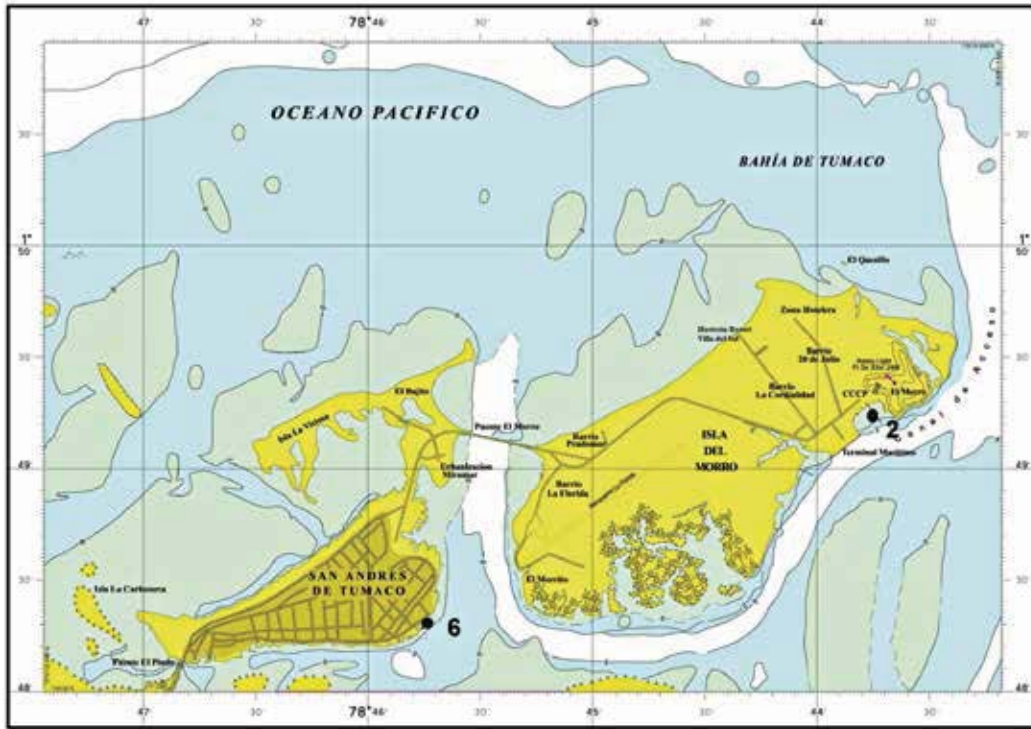


Figura 4.29 Estaciones de muestreo de ejercicios de seguimiento de 24 horas.

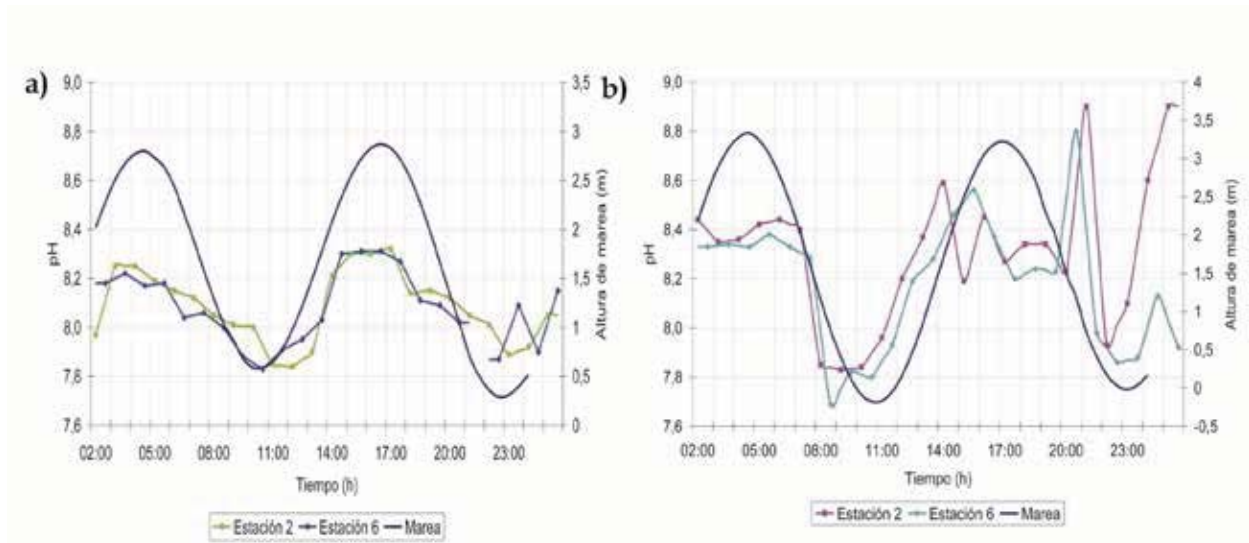


Figura 4.30 Comportamiento de valores de pH para a) primer y b) segundo semestre de 2008.

Para las dos estaciones durante los dos ejercicios se observó, en general, una relación directa entre los valores de pH y la altura de la marea. Esta relación fue más notoria en el segundo semestre cuando la diferencia entre las alturas de las mareas fue mayor.

Al evaluar la salinidad de las muestras recolectadas en las estaciones 2 y 6 en el primer y segundo semestre del año, se encontraron valores entre 24,7 y 29,5, el valor mínimo en la estación 6, y el valor máximo en la estación 2, ambos se registraron durante el segundo semestre (Figura 4.31).

El comportamiento de los valores de salinidad para las dos estaciones evaluadas mostró una estrecha relación con la altura de la marea durante el segundo semestre (Figura 4.32). En general, la estación 6 presentó concentraciones menores con relación a las encontradas en la estación 2, debido a la diferencia en el grado de influencia continental que recibe cada una, siendo la estación 2 la que presenta mayor influencia oceánica.

Al evaluar el comportamiento de los nutrientes, específicamente de nitratos, es posible identificar una relación inversa entre la concentración de estas sustancias y la altura de la marea (Figura 4.33); este comportamiento es debido a los procesos de dilución y concentración que tienen lugar durante el ciclo mareal; así, cuando la marea descende, los compuestos presentes en la columna de agua se disuelven en un menor volumen con relación al período de marea alta donde llega un prisma mareal de alrededor de 3 m favoreciendo la dilución de las sustancias presentes.

Durante el segundo ejercicio de seguimiento, las concentraciones determinadas para nitratos registran valores entre 0,04 y 0,35 $\mu\text{g.at.N-(NO}_3\text{)}/\text{L}$ para la estación 2, y entre 0,07 y 0,44 $\mu\text{g.at.N-(NO}_3\text{)}/\text{L}$ para la estación 6. Durante las dos jornadas de muestreo, los valores de nitratos en la estación 6 mostraron magnitudes mayores a las determinadas para la estación 2, lo cual es debido a la actividad antrópica que se concentra alrededor de la estación 6.

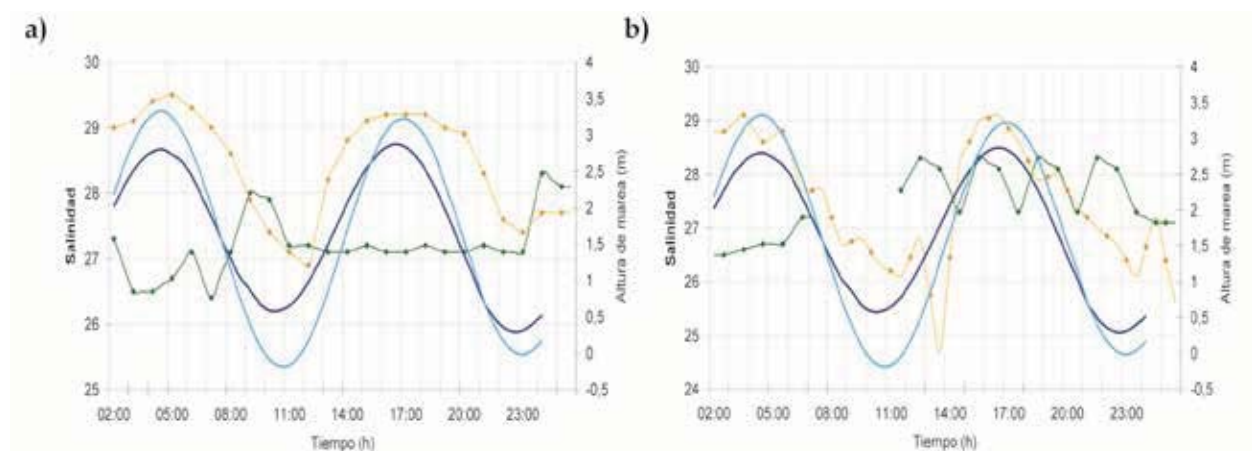


Figura 4.31 Comparación de valores de salinidad para el primer y segundo semestre de 2008 en a) estación 2 y b) estación 6.

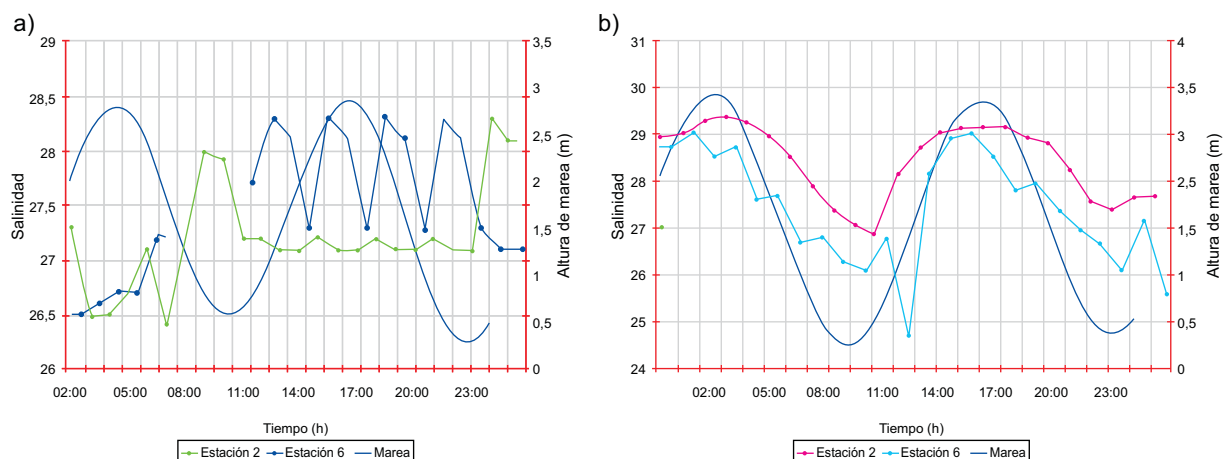


Figura 4.32 Comparación de valores de salinidad para a) primer y b) segundo semestre de 2008.

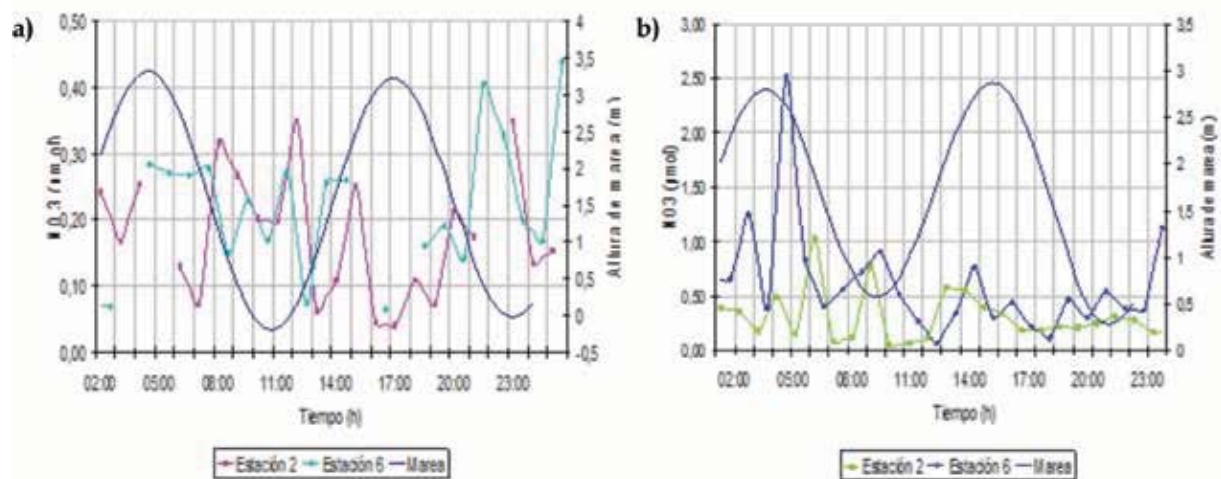


Figura 4.33 Variación en la concentración de nitratos ($[NO_3^-]$) en un período de 24 horas: a) primer y b) segundo semestre de 2008.

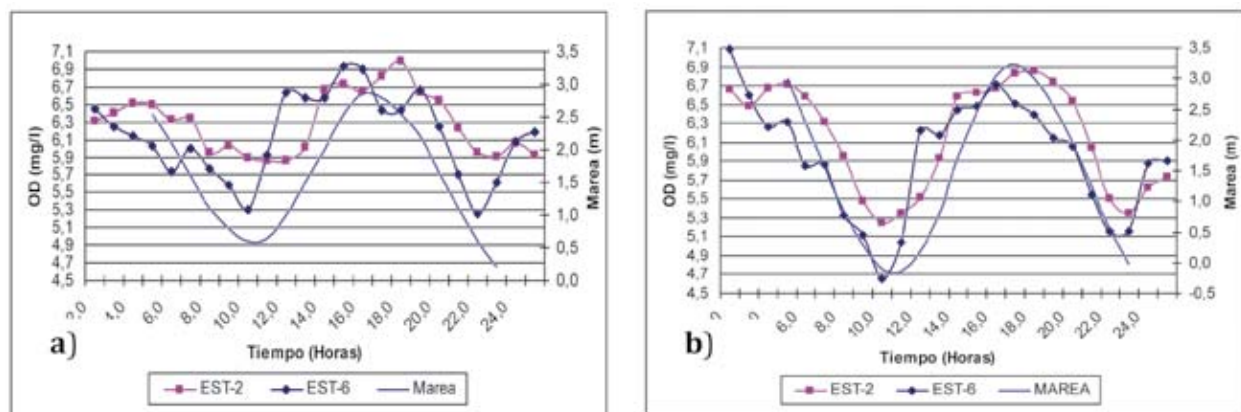


Figura 4.34 Comportamiento de los valores de oxígeno disuelto durante los ejercicios de seguimiento de 24 horas realizados en a) primer y b) segundo semestre de 2008.

Las concentraciones de OD variaron entre 6,50 y 8,50 $mg O_2/L$ para la estación 2; y entre 5,24 y 6,86 $mg O_2/L$ para la estación 6 durante el segundo semestre (Figura 4.34); mientras que para el primer semestre los valores se encontraron entre 5,86 y 6,98 $mg O_2/L$ para la estación 2; y entre 5,26 y 6,93 $mg O_2/L$ para la estación 6. Estos valores son ligeramente menores con relación a los determinados para las estaciones ubicadas en la zona céntrica y occidental de la Bahía, pues los aportes de materiales degradables que se disponen directamente desde las islas consumen parte del oxígeno disponible en el medio.

El OD presentó una relación directa en función de la altura de la marea, según la cual durante los períodos de marea alta las concentraciones de oxígeno aumentaron producto del arribo de aguas oceánicas oxigenadas a la Bahía; adicionalmente, en las horas de la tarde, cuando

la altura de la marea se encuentra en los mayores valores y los vientos promueven el arribo de olas hasta las islas, las concentraciones de oxígeno son superiores a las determinadas durante pleamar, en las primeras horas del día. Por otra parte, las concentraciones de este gas no indicaron una clara relación con la radiación lumínica, la cual a su vez afecta la producción fotosintética de oxígeno; así, el contenido de este en el ambiente marino estudiado está determinado, principalmente, por el ciclo mareal y probablemente el oleaje en el sector.

En el intervalo de tiempo comprendido entre las 12:00 y 14:00 horas, cuando la actividad fotosintética presenta las mayores velocidades de producción de oxígeno, las concentraciones del gas exhiben un significativo aumento, probablemente asociado a la formación biológica de oxígeno a través de procesos de fotosíntesis.

Con base en los resultados obtenidos para los ejercicios de seguimiento de 24 horas, se corrobora que el cambio mareal es un factor determinante de la variabilidad de los parámetros hidroquímicos del agua en la bahía de Tumaco; este promueve procesos de autodepuración en los puntos evaluados. Adicionalmente, la intensidad de radiación, precipitaciones, actividades antrópicas y dinámica marina, entre otros, afectan directa e indirectamente la calidad del agua.

4.2.2.2 Demanda de Oxígeno en Sedimentos (DOS) en tres estaciones de la ensenada de Tumaco

La información presentada corresponde a los resultados medidos en tres puntos de la ensenada de Tumaco (puente El Pindo, muelle de Guarda Costas y playa de El Morro), que están expuestos a diferentes fuentes de contaminación, asociadas a las actividades propias de cada sector. La DOS corresponde al resultado de la descomposición de la materia orgánica contenida en los sedimentos, en un ecosistema acuático. Los sedimentos recolectados en el sector adyacente a puente El Pindo presentaron el mayor consumo de oxígeno, situación esperada como consecuencia del vertimiento de: aguas residuales domésticas, desechos de madera y residuos oleosos, los cuales potencian el consumo de oxígeno. Los resultados estuvieron entre 0,288 y 0,451 g O₂/(m²·día); y estos valores reflejaron una estrecha relación con la cercanía hacia las fuentes antrópicas y procesos dinámicos en el área, puesto que estos últimos se encargan de transportar los materiales de un lugar a otro (Cccp, 2009).

Los valores registrados en la literatura para la DOS varían mucho entre los distintos tipos de sistemas de agua: marinos, estuarinos y de agua dulce. Los valores típicos de DOS a 20°C para zonas costeras se encuentran en el rango de 0,1 g O₂/(m²·día) para sedimentos arenosos a 10 g O₂/m²·día para sedimentos con un alto contenido de M.O (Utley *et al.*, 2008), rango en el cual se encontraron los valores para la DOS de los puntos examinados.

Esto permite establecer que generalmente el destino final de los materiales que llegan a los cuerpos de agua es el fondo, alterando los procesos biogeoquímicos naturales de dichos ecosistemas. En este ámbito hay que entender que la descarga de residuos en el mar lleva a una concepción errónea de “eliminación” de las mismas.

4.2.2.3 Evaluación microbiológica de la calidad del agua en la bahía de Tumaco

Los ecosistemas acuáticos mantienen una gran diversidad de organismos, incluso mayor a los terrestres, por lo que los impactos como la contaminación inducen a cambios en la estructura de las comunidades, la función biológica de los sistemas acuáticos y al propio organismo, afectando su ciclo de vida, crecimiento y su condición reproductiva (Herbas *et al.*, 2006).

La bahía de Tumaco se comporta como un sistema estuarino presentando un intercambio continuo de aguas oceánicas y continentales provenientes de la cuenca de los ríos Mira, Rosario, Mejicano, Curay, Colorado, Tablones y Chagüí, entre otros (Garay *et al.*, 2006). El transporte de materiales y sustancias a través de los ríos, contribuye a una alteración de la calidad del agua, debido a los aportes que realizan las poblaciones ribereñas.

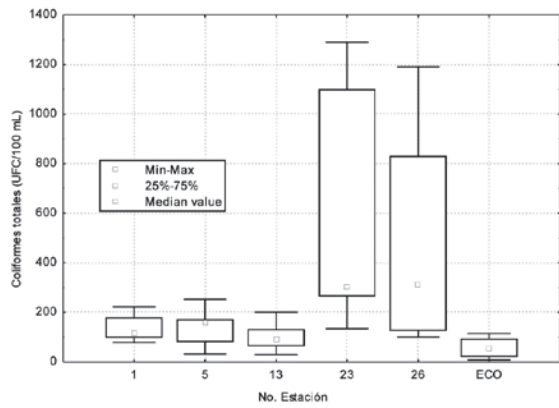
Uno de los principales contaminantes es la materia fecal, producida por humanos y animales, siendo una fuente de deterioro de la calidad del agua, especialmente de la superficial. La materia fecal que llega a estos ambientes conlleva a la introducción de microorganismos patógenos dentro del ciclo del agua, los cuales pueden ser causantes de brotes de enfermedades y epidemias (Chiroles, 2009).

Los resultados microbiológicos en la bahía de Tumaco indicaron que las mayores concentraciones de Coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococos*, tanto en marea alta como en marea baja (Figura 4.35), se encontraron en las estaciones adyacentes a las desembocaduras de los ríos y de los asentamientos poblacionales.

Los Coliformes totales registraron un rango entre <1UFC/100 mL y 1.150 UFC/100 mL con un valor promedio de 220 UFC/100 mL durante la marea alta. Durante la marea baja estuvieron entre 8 UFC/100 mL y 7.200 UFC/100 mL, con un promedio de 501 UFC/100 mL.

En cuanto a *Escherichia coli*, el mayor valor promedio se registró durante el período de marea baja con 578 UFC/100 mL. Para *Enterococos* se presentó la mayor abundancia en marea baja con 22 UFC/100 mL.

Marea Baja



Marea Alta

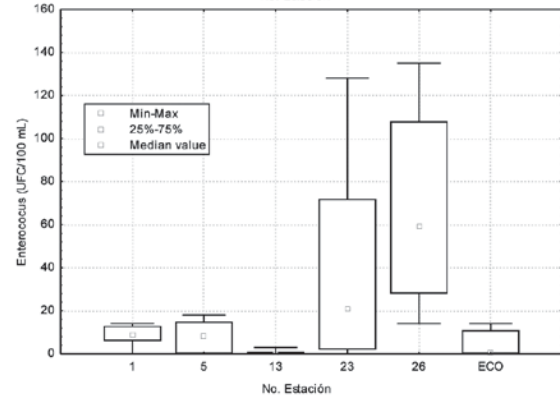
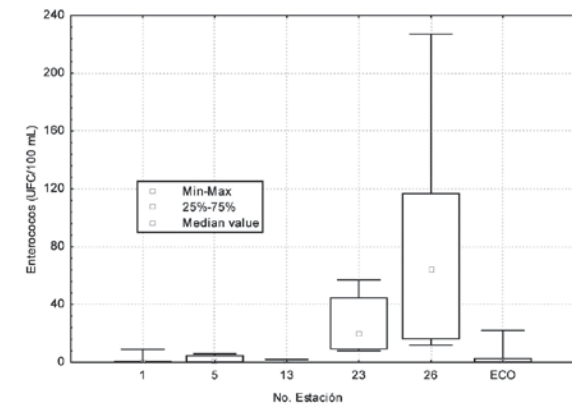
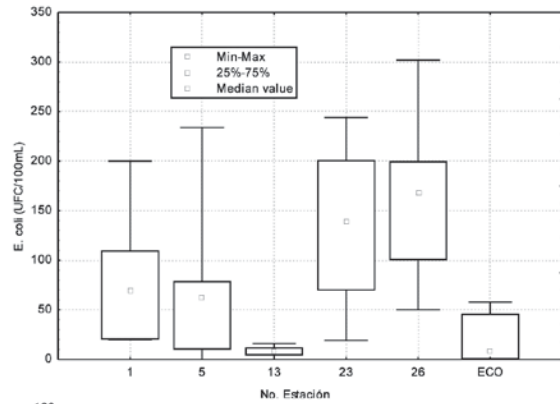
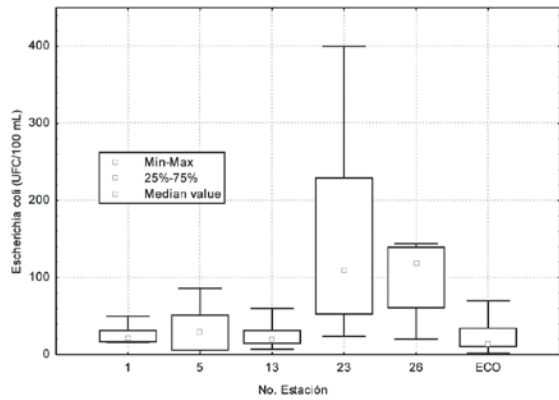
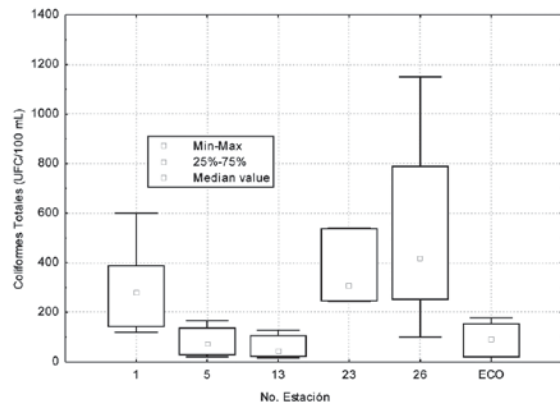


Figura 4.35 Comportamiento de los indicadores bacterianos en mareas baja y alta.

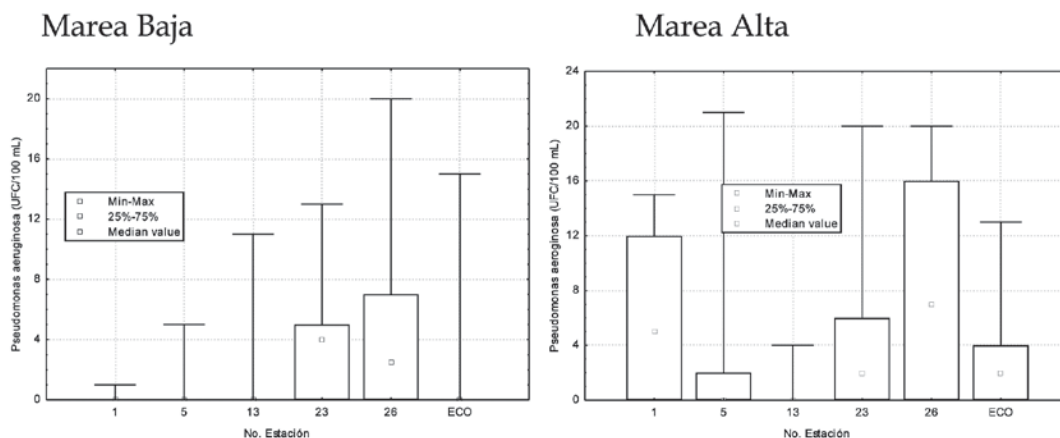


Figura 4.36 Variabilidad de la presencia de la *Pseudomonas aeruginosa* en marea alta y marea baja, bahía de Tumaco, 2010 y 2011.

Otro de los microorganismos detectados en la bahía de Tumaco fue la *Pseudomonas aeruginosa*, bacteria que no es considerada autóctona del agua, y que proviene de heces humanas y animales, por lo que se las encuentra en zonas de influencia directa e indirecta de descargas de aguas residuales, como en el caso de las estaciones 23 y 26, cuyos niveles estuvieron entre <1 UFC/100 mL y 20 UFC/100 mL durante la marea baja, y entre <1 UFC/100 mL y 21 UFC/100 mL en temporada de marea alta (Figura 4.36).

Otros patógenos como: *Salmonella spp.*, *Shigella spp.* y *V. cholerae*, pueden llegar a ser fuentes potenciales de infecciones severas en forma directa, sobre todo cuando el agua es utilizada para fines recreacionales o indirectamente, cuando están presentes en otros organismos como son los peces, crustáceos y moluscos que son consumidos por el hombre (Becerra y Botello, 1995). Esta fue una razón por la que se estudió la presencia del género *Salmonella spp.*, la cual se encuentra entre los patógenos más importantes que se transmiten a través del agua. Una de las enfermedades producidas por esta es la fiebre tifoidea, que puede adquirirse a través de agua y alimentos contaminados o por contacto directo con personas infectadas. Las especies de *Salmonella* distintas a *S. typhi* producen procesos patológicos menos severos y son responsables, con mayor frecuencia, de brotes epidémicos de transmisión hídrica (Chiroles, 2009).

Como se observa en la figura 4.37, se registró la presencia de *Salmonella spp.* y *Shigella spp.* en la mayoría de las estaciones monitoreadas, excepto en las estaciones 5 y 13, durante los dos períodos de marea monitoreados. Esto se debe a que las estaciones que registraron presencia, se encuentran influenciadas por descargas

de aguas continentales, vertimientos antropogénicos y escorrentías.

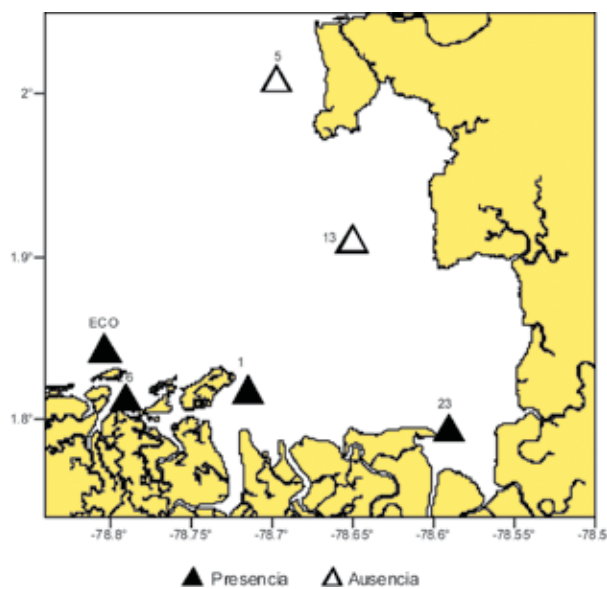


Figura 4.37 Presencia de *Salmonella spp.* y *Shigella spp.* en la bahía de Tumaco.

Aunque solamente se llegó a la identificación del género, se conoce que estos microorganismos constituyen un importante problema sanitario; es por esto que se considera pertinente determinar la presencia de estos patógenos en el medio acuático.

Por último, en el 2010 se identificó *V. cholerae* en la estación 1 durante marea alta; y en el 2011 nuevamente se presentó en esta misma estación y en la estación Terminal Multiboyas (Eco), pero en marea baja; y en la estación 26 en marea alta (Figura 4.38). Este microorganismo presenta un ciclo de vida libre, formando parte de la microbiota de los ecosistemas acuáticos, tanto de aguas marinas como dulces.

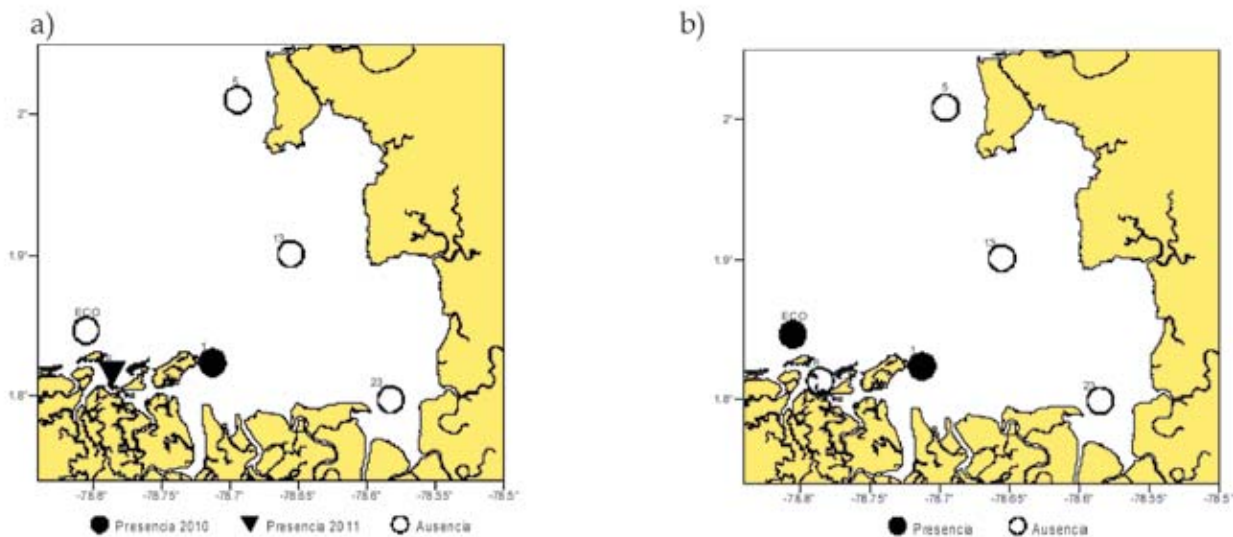


Figura 4.38 Presencia de *Vibrio cholerae* en la bahía de Tumaco en a) marea alta y b) marea baja.

Tabla 4.7 Microorganismos identificados con el BBL Crystal

| ESTACIÓN | MAREA | | MICROORGANISMO |
|--------------------|-------|------|---|
| | Baja | Alta | |
| Multiboyas Eco-23 | X | X | <i>Serratia marcescens</i> |
| 1 | | X | <i>Klebsiella pneumoniae</i> |
| 1; 5 | | X | <i>Klebsiella oxytoca</i> |
| 26 | X | | <i>Vibrio vulnificus</i> |
| 5 | X | | <i>Stenotrophas maltophilia</i> <i>Protobacterium damsela</i> <i>Vibrio parahemolyticus</i> |
| 1; 23 | X | X | <i>Aeromonas hydrophila</i> |
| 26 | | X | <i>Providencia rettgeri</i> <i>Chromobacterium violaceum</i> |
| 13; Multiboyas Eco | X | X | <i>Chromobacterium violaceum</i> |

Fuente: Presente documento

La fisiología de *V. cholerae* en estas aguas está estrechamente ligada a tres factores principales: (1) la relación de temperatura y salinidad, (2) la adherencia a superficies y (3) la colonización de la macrobiota con quitina. Estos factores favorecen su crecimiento y/o presencia en el medio acuático (Chiroles, 2009).

A parte de los microorganismos estudiados, se registró la presencia de otras bacterias entéricas no fermentadoras, aerobias y Gram negativas, que pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, así como también de los bacilos Gram negativos fermentadores y no fermentadores de glucosa. Se hizo por medio de una identificación rápida como es el BBL Crystal (Ver Tabla 4.7).

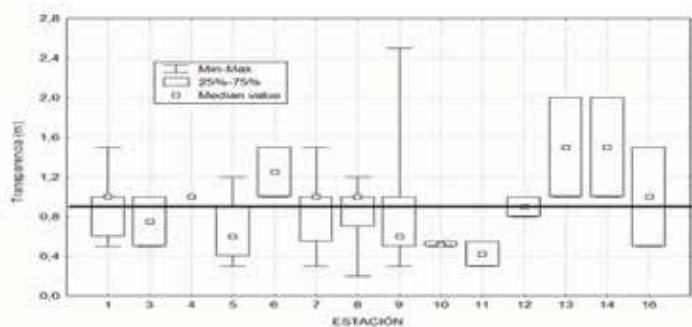


Figura 4.39 Variabilidad de la transparencia en las estaciones de muestreo en la bahía de Buenaventura durante el período 2007-2009.

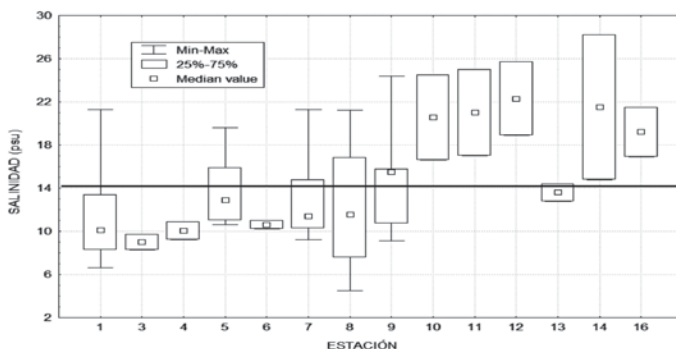


Figura 4.40 Variabilidad de la salinidad en la bahía de Buenaventura durante el período 2007-2009.

4.2.3 ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BAHÍA DE BUENAVENTURA

La información tratada para este componente corresponde a la obtenida por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico, a través de seis muestreos durante el período 2007 y 2009. Es necesario anotar que los monitores no fueron sistemáticos en todas las estaciones (Figura 1.1). También se enfatiza que esta evaluación involucra solamente los registros obtenidos durante el período de marea baja, donde las condiciones físico-químicas se pronuncian y/o alteran, de manera negativa, la calidad del agua en los ecosistemas del Pacífico colombiano.

4.2.3.1 Transparencia

La bahía de Buenaventura recibe aguas residuales domésticas de la población, y allí desembocan los ríos Anchicayá, Raposo, Potedó y Dagua, que aportan una gran cantidad de materiales afectando directamente la calidad del agua. Los valores registrados durante el período 2007-2009, variaron entre 0,2 m y 2,5 m, presentando un valor promedio general de 0,9 m (Figura 4.39).

4.2.3.2 Salinidad.

A través del período de estudio los valores variaron entre 4,5 ups y 28,2 ups, con un promedio de 14,5 ups (Figura 4.40), reflejándose el aporte de los ríos Anchicayá, Dagua y Potedó. El promedio para los muestreos realizados durante el primer semestre del período fue de 19,9 ups, y de 11,7 en el segundo. Esto refleja la entrada de agua con

mayor salinidad a la Bahía durante el primer semestre del año.

La distribución espacial de la salinidad en la bahía de Buenaventura refleja una estrecha relación con la dinámica de las corrientes, de tal forma que el agua con baja salinidad se encuentra hacia el interior de la Bahía y la desembocadura de los ríos (Figura 4.41), lo que permite inferir que los materiales que llegan a la Bahía, y que no puedan ser expulsados completamente hacia la parte externa, tras el retorno de la fase de marea subiendo, se transportan hacia el interior de la misma y se acumulan alterando las condiciones físico-químicas del ecosistema.

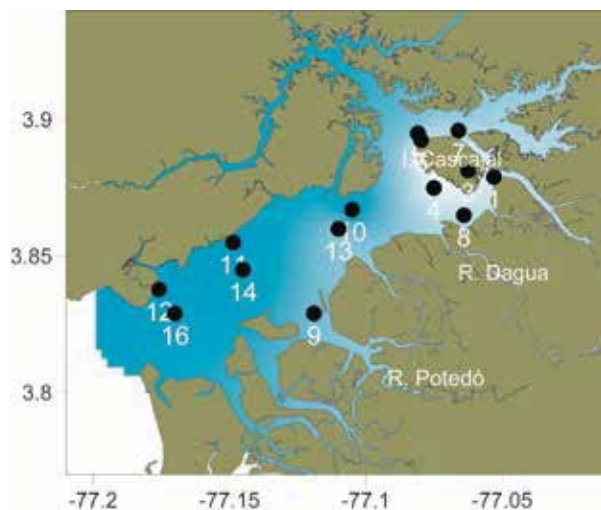


Figura 4.41 Distribución espacial de la salinidad en la bahía de Buenaventura durante la marea baja.

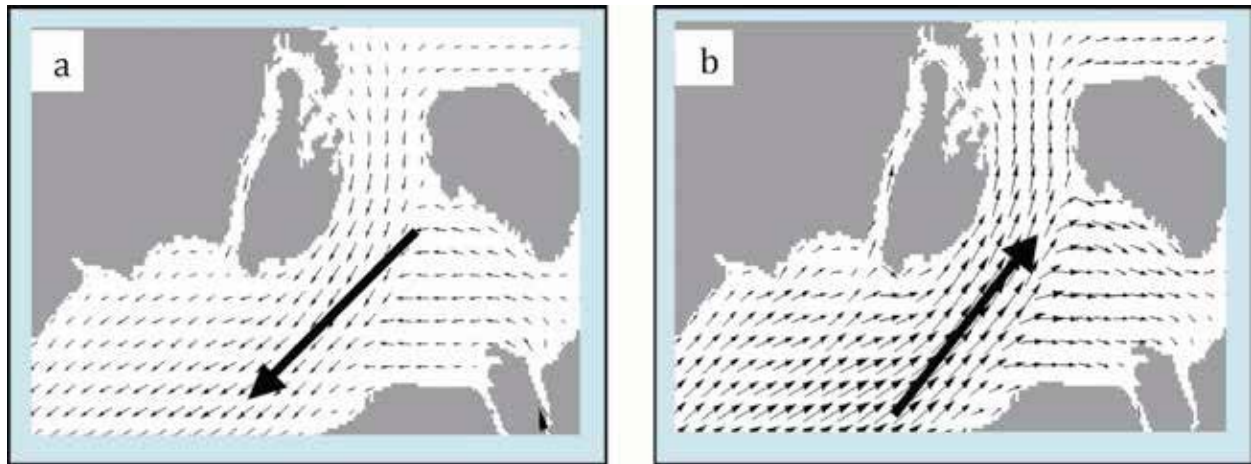


Figura 4.42 Patrón de corrientes para la bahía de Buenaventura durante: a) marea bajando y b) marea subiendo.
Fuente: Cccp, 2009a.

Por otro lado, la distribución de la salinidad en la Bahía también presenta un comportamiento espacial inverso a la de otros parámetros, como por ejemplo, materia orgánica y nutrientes, entre otros.

4.2.3.3 Temperatura superficial

En los muestreos realizados durante marea baja, se registraron entre 24,8 y 29,5°C, con un promedio de 28,0°C. Este parámetro presenta una estrecha dependencia entre el calor absorbido y la radiación del día, por lo que generalmente en horas de la mañana son menores a los obtenidos después del mediodía.

4.2.3.4 Sólidos suspendidos

En la Bahía, los ríos Anchicayá, Potedó y Dagua se consideran como las principales fuentes de transporte de Sólidos Suspendidos (SS). La erosión de sus cuencas es consecuencia de la actividad aurífera, presente principalmente en el río Dagua. Una vez ingresado a la Bahía, el destino de los SS queda condicionado a las corrientes internas. En este aspecto al relacionar el patrón de las corrientes (Figura 4.42), se tiene que durante el período de marea bajando las corrientes se proyectan hacia la parte externa de la Bahía transportando los SS con una fuerza tangencial dirigida hacia los esteros adyacentes a la desembocadura de los ríos Potedó y Anchicayá (Figura 4.43).

Los sólidos en suspensión en la Bahía variaron entre 3,5 y 56,9 mg/L, con un valor medio de 16,0 mg/L

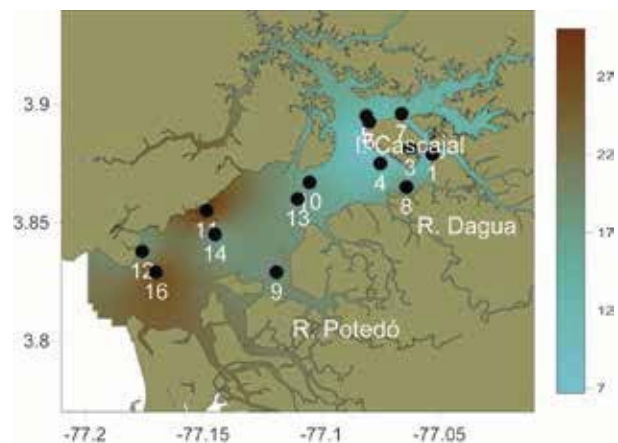


Figura 4.43 Distribución espacial de los sólidos suspendidos en la bahía de Buenaventura.

4.2.3.5 pH

Los valores estuvieron entre 6,98 y 7,95, con un promedio de 7,48. En la Bahía, la masa de agua oceánica fuertemente taponada, con valores de pH cercanos a 8, va adquiriendo, a medida que se aproxima a la isla Cascajal, un pH con propiedades ligeramente menos básicas (Figura 4.44); esto, como posible consecuencia de los procesos de transformación de la materia orgánica vertida a través de las aguas residuales domésticas.

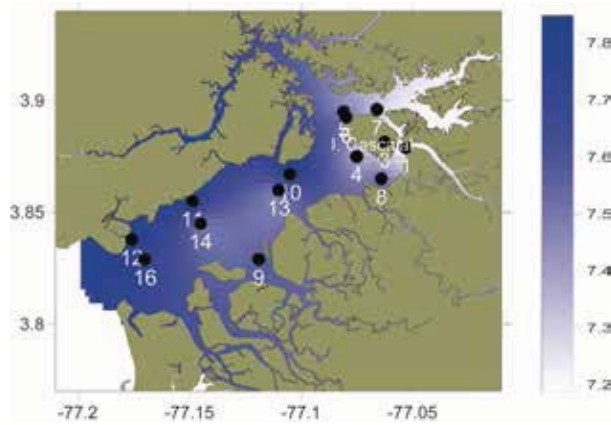


Figura 4.44 Comportamiento espacial del pH en la bahía de Buenaventura.

4.2.3.6 Oxígeno Disuelto

Los niveles estuvieron comprendidos entre 3,21 y 6,82 mg O₂/L, con un promedio de 5,27 mg O₂/L, superando el valor de 3 mg O₂/L, y descartando condiciones de hipoxia en la Bahía. El 5 % de los valores fue menor al criterio establecido para la destinación del recurso en la preservación de la flora y la fauna en aguas marinas o estuarinas, según el Decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984), de calidad admisible (4,0 mg O₂/L) registrándose en puntos adyacentes a la isla Cascajal. Al contrario, los niveles más altos se presentaron en zonas de mayor influencia oceánica (Figura 4.45).

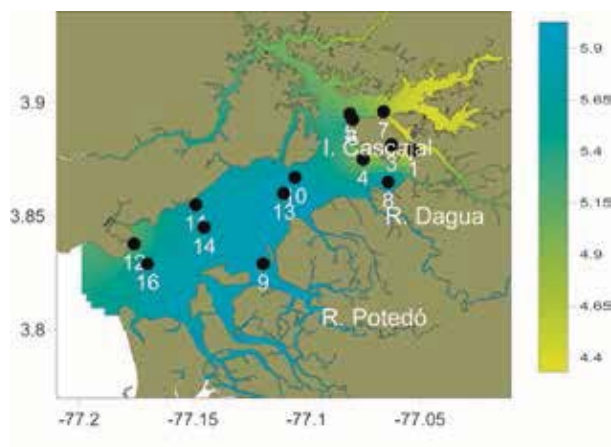


Figura 4.45 Comportamiento espacial del Oxígeno Disuelto en marea baja para la bahía de Buenaventura.

4.2.3.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno

Los resultados obtenidos a través de los monitores realizados entre el 2007 y 2009 variaron entre 0,23 y 2,17

mg O₂/L, cuyo valor máximo se registró en la estación 6 durante el segundo muestreo, en 2007. La población asentada en la isla Cascajal es la fuente principal de materia orgánica a la bahía de Buenaventura, hecho que implica que alrededor de la Isla se encuentren las concentraciones más altas para la DBO₅ (Figura 4.46).

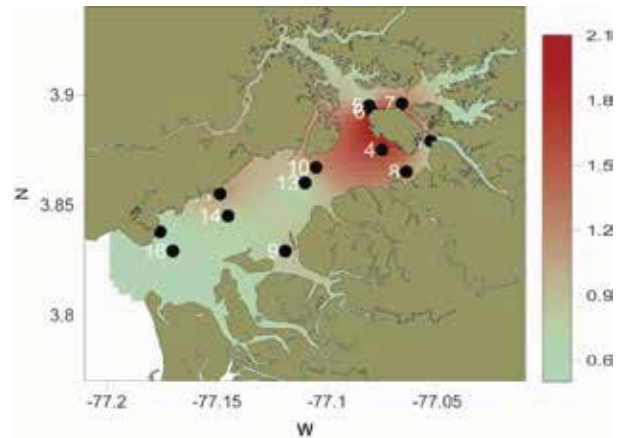


Figura 4.46 Distribución espacial de la DBO₅ en la bahía de Buenaventura.

4.2.3.8 Oxidabilidad Química de la Materia Orgánica Total

El valor promedio fue de 2,4 mg O₂/L. La variación y comportamiento espacial para los diferentes parámetros hidroquímicos se asocian estrechamente a los patrones de corrientes en el área, y por ende las sustancias orgánicas tienden a concentrarse hacia el interior de la isla Cascajal (Figura 4.47), puesto que las sustancias pueden transportarse de un lugar a otro y ser atrapadas momentáneamente en sectores que favorezcan la retención de las mismas, especialmente hacia los esteros Gamboa y Aguacate.

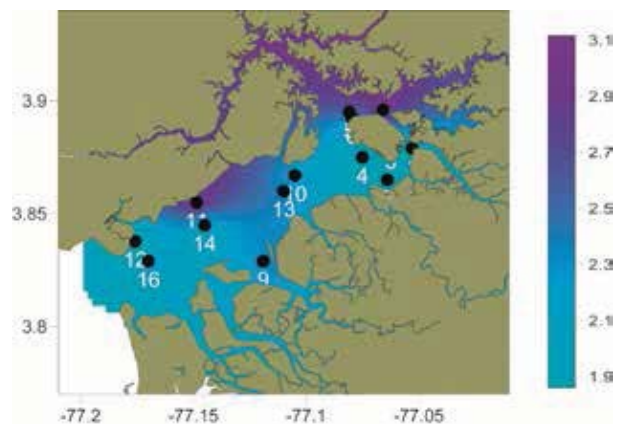


Figura 4.47 Distribución espacial de la oxidabilidad química de la materia orgánica en la bahía de Buenaventura.

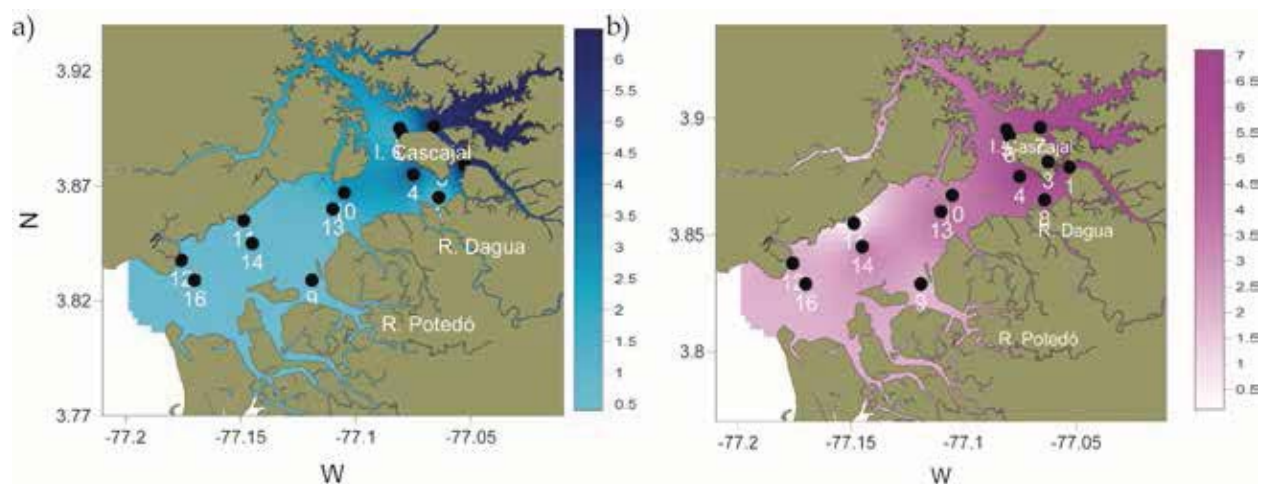


Figura 4.48 Distribución espacial para: a) el ión amonio y b) para los nitratos en la bahía de Buenaventura durante el período de marea baja.

4.2.3.9 Nutrientes

Los compuestos relacionados con amonio, nitrito y nitrato, están comprometidos dentro del ciclo del nitrógeno. En la bahía de Buenaventura, las concentraciones pueden variar en las diferentes escalas de tiempo y espacio; la distribución espacial de tales sustancias presenta una estrecha relación con la dinámica del área. Para el ión amonio las concentraciones alcanzaron hasta los $11,32 \mu\text{g.at.N-(NH}_4\text{)}^+/\text{L}$, con un promedio de $2,59 \mu\text{g.at.N-(NH}_4\text{)}^+/\text{L}$. El amonio se relaciona directamente con el vertimiento de aguas residuales domésticas, situación que se refleja alrededor de la isla Cascajal (Figura 4.48a). Las concentraciones de nitritos estuvieron comprendidas entre $0,03$ y $5,03 \mu\text{g.at.N-(NO}_2\text{)}^-/\text{L}$ con un promedio de $1,78$. Este parámetro presenta una alta inestabilidad química en el medio ya que se oxida rápidamente a nitrato. Los niveles de nitratos generalmente fueron más altos y alcanzaron hasta los $10,02 \mu\text{g.at.N-(NO}_3\text{)}^-/\text{L}$, con un promedio de $4,77 \mu\text{g.at.N-(NO}_3\text{)}^-/\text{L}$, coincidiendo con la distribución espacial obtenida para el amonio (Figura 4.48b). Según la NOAA, los valores de nitratos para el Pacífico ecuatorial a nivel superficial pueden llegar hasta $22 \mu\text{g.at.N-(NO}_3\text{)}^-/\text{L}$.

La razón para nitrógeno/fósforo disueltos (N: P) fue de 36:1, siendo superior a la relación de Redfield (16:1). Esto puede indicar que las actividades antrópicas, asociadas principalmente al vertimiento de aguas residuales de la población, conduce a desbalances en el ciclo del fósforo e inferir que este sea el nutriente

limitante para la productividad primaria en el área. Las concentraciones para el ión ortofosfato estuvieron en el rango comprendido entre valores menores al límite de detección ($0,06 \mu\text{g.at.P-(PO}_4\text{)}^{3-}/\text{L}$) y $0,61 \mu\text{g.at.P-(PO}_4\text{)}^{3-}/\text{L}$, con un promedio de $0,21 \mu\text{g.at.P-(PO}_4\text{)}^{3-}/\text{L}$.

4.2.3.10 Índices Tróficos

El estado trófico del agua en la bahía de Buenaventura se evaluó con base en los índices obtenidos para cada una de las estaciones de muestreo. Las estaciones 1 y 7 ubicadas en el punto de confluencia entre los esteros Piñal y San Antonio, y rodeada por sectores donde se concentran viviendas en áreas de bajamar, presentaron una tendencia de un ecosistema mesotrófico para el ión amonio, y nitritos más nitratos; las estaciones restantes mostraron características de ecosistema oligotrófico (Figuras 11.49 a y b). Los índices determinados para el ión ortofosfato en todas las estaciones indicaron características de un ecosistema oligotrófico (Figura 11.49 c). Esto permite corroborar al fósforo como un factor limitante en la Bahía.

4.2.4 ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BAHÍA DE MÁLAGA

La información físico-química analizada en el presente documento corresponde a la obtenida a través de un total de seis monitoreos, durante el período 2007 – 2009, en una serie de estaciones distribuidas a lo largo y ancho de la Bahía como se ilustra en la figura 1.1.

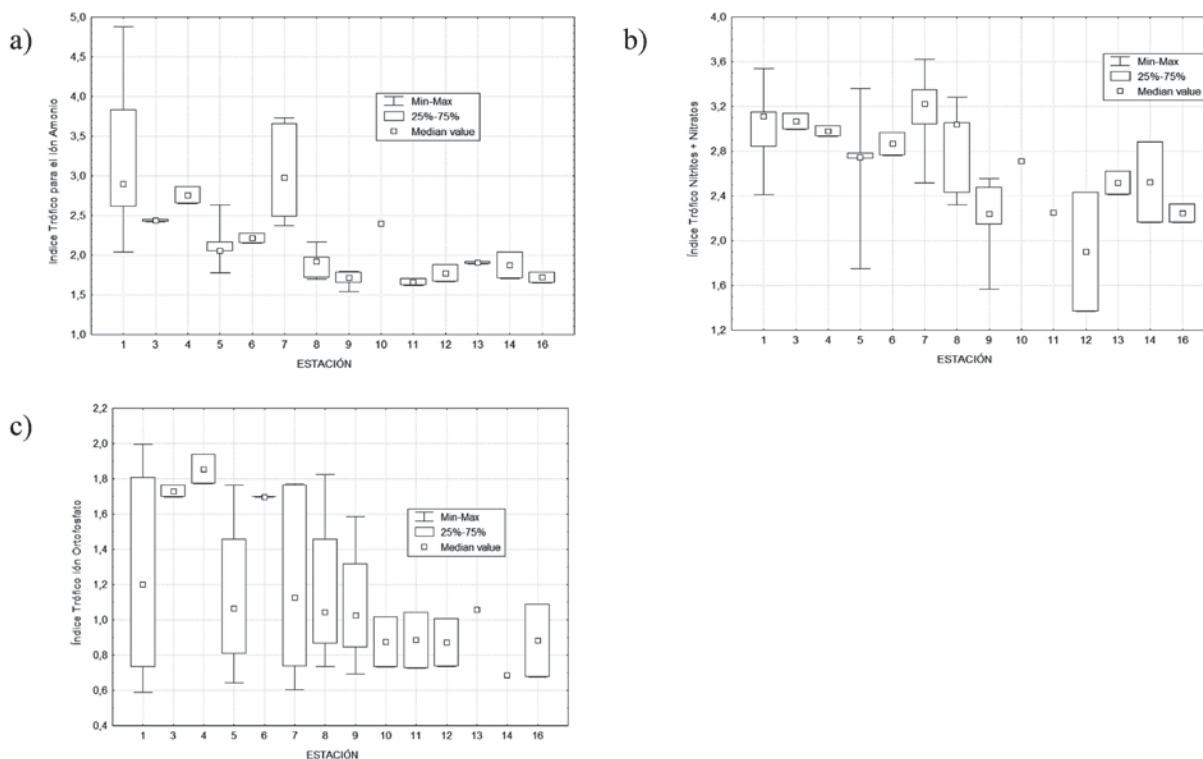


Figura 4.49 Índices tróficos para la bahía de Buenaventura de a) ión amonio, b) nitritos + nitratos y c) ión ortofosfato.

4.2.4.1 Transparencia

Bahía Málaga presenta una mayor transparencia con relación a la observada en la bahía de Buenaventura. El valor promedio para el período evaluado fue de 1,6 m, con una variabilidad entre 0,6 y 3,0 m, con un promedio de 1,6 m. La Bahía presenta mayor transparencia con relación a la presentada en Buenaventura. Uno de los factores que más puede afectar la transparencia en el área son las condiciones meteorológicas y la hora del día.

4.2.4.2 Salinidad

Es un parámetro esencial para la supervivencia de determinadas especies. El comportamiento espacial se presenta en la Figura 4.50, en donde se observa cómo las isolíneas de masas de agua con menor salinidad se proyectan desde La Sierpe hacia la parte externa de la Bahía, durante la marea baja. Los valores de salinidad variaron entre 14,3 y 29,5 ups, con un promedio de 23,4 ups. De aquí se establece que especies presentes en la Bahía toleran amplios márgenes para este parámetro. Sin embargo, se infiere que descensos bruscos de la salinidad pueden asociarse con efectos sinérgicos de algunos contaminantes.

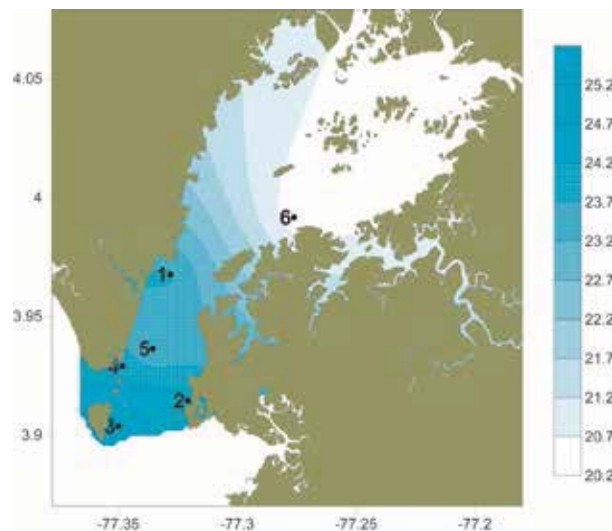


Figura 4.50 Comportamiento espacial de la salinidad en la bahía de Málaga para el período de marea baja.

4.2.4.3 Temperatura Superficial

A través de los seis monitores varió entre 25,0 y 29,0 °C con un promedio de 27,7 °C. Este es un parámetro que en el área depende netamente de las condiciones meteorológicas y la hora del día.

4.2.4.4 Sólidos Suspendidos

Los valores variaron entre 2,1 y 28,1 mg/L, con un promedio general de 10,5 mg/L, reflejando que en la Bahía no se presenta una entrada importante de estos materiales desde el continente.

4.2.4.5 pH

Los valores estuvieron entre 7,62 y 8,06. Los valores ligeramente más bajos se encuentran hacia el interior de la Bahía debido a la influencia de algunas fuentes hídricas como La Sierpe y La Plata.

4.2.4.6 Oxígeno Disuelto

Las concentraciones a través de los seis muestreos variaron entre 5,8 y 7,1 mgO₂/L, con un promedio general de 6,4 mgO₂/L (Figura 4.51), indicando una buena oxigenación del agua, y por ende superan el nivel establecido en el Decreto 1594 de 1984.

4.2.4.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La determinación de la DBO₅ es un ensayo que permite medir el consumo de oxígeno molecular durante los procesos biológicos aerobios de degradación de la materia orgánica. Así, valores altos de DBO₅ son característicos de aguas con altos niveles de contaminantes y ricas en materiales degradables. Las concentraciones en la Bahía variaron entre 0,36 y 1,38 mg O₂/L, con un promedio de 0,89 mg O₂/L.

4.2.4.8 Oxidabilidad Química de la Materia Orgánica

Los valores variaron entre 0,7 y 2,9 mg O₂/L, con un promedio general de 1,8 mg O₂/L (Figura 4.52). La relación de DBO₅/OQ obtenida fue de 0,50; lo que permite inferir que la materia orgánica presente es biodegradable.

4.2.4.9 Nutrientes

La materia orgánica que ingresa a los ecosistemas marinos está asociada a los aportes continentales, corrientes oceánicas, excreciones y muerte de algas y organismos marinos, la cual inicialmente se suspende en las capas superficiales y posteriormente se hunde por gravedad hasta las profundidades donde, por acción de las bacterias y de la actividad química, se descompone, liberando así los nutrientes, los cuales son esenciales para la productividad primaria.

El nitrógeno llega al mar en forma de compuestos nitrogenados no asimilables, pero gracias a la acción de las bacterias y de las algas verde-azules, durante el proceso de nitrificación se transforman en nitrógeno soluble, representado principalmente por las formas iónicas de amonio (NH₄⁺), nitratos (NO₃⁻), nitritos (NO₂⁻), de los cuales el amonio es asimilable más fácilmente.

Para los parámetros nitrogenados los rangos, y por ende la variabilidad, fueron más estrechos (Figura 4.53) que los encontrados para las bahías de Buenaventura y Tumaco. Las concentraciones estuvieron entre <0,32 y 3,15 μg.at.N-(NH₄)⁺/L para el amonio; entre <0,03 y 0,33 μg.at.N-(NO₂)⁻/L para los nitritos; y entre <0,11 y 2,34 μg.at.N-(NO₃)⁻/L para los nitratos, con valores medios de 0,85, 0,14 y 0,68, respectivamente.

Para el ión fosfato, el rango de concentraciones determinado estuvo entre <0,06 y 0,51 μg.at.P-(PO₄)⁻³/L, encontrándose dentro de los rangos característicos del océano Pacífico ecuatorial (<2,0 μg.at. P-(PO₄)⁻³/L).

Las concentraciones relativamente bajas obedecen a que en la bahía de Málaga los aportes directos e indirectos desde tierra, ya sea debido a vertimientos de la población o actividades diversas, también son escasos.

4.2.4.10 Índices de eutrofización (IE)

Los IE exhibieron características oligotróficas (Figura 4.54). Así, puede decirse que la bahía de Málaga es un ecosistema acuático pobre en nutrientes asimilables por los organismos que viven en él.

Finalmente, las concentraciones de nitrógeno y fósforo permiten inferir cómo los aportes provenientes del río La Sierpe y el estero La Plata, ubicados al interior de la Bahía, no afectan significativamente la calidad del agua de las estaciones muestreadas en la Bahía.

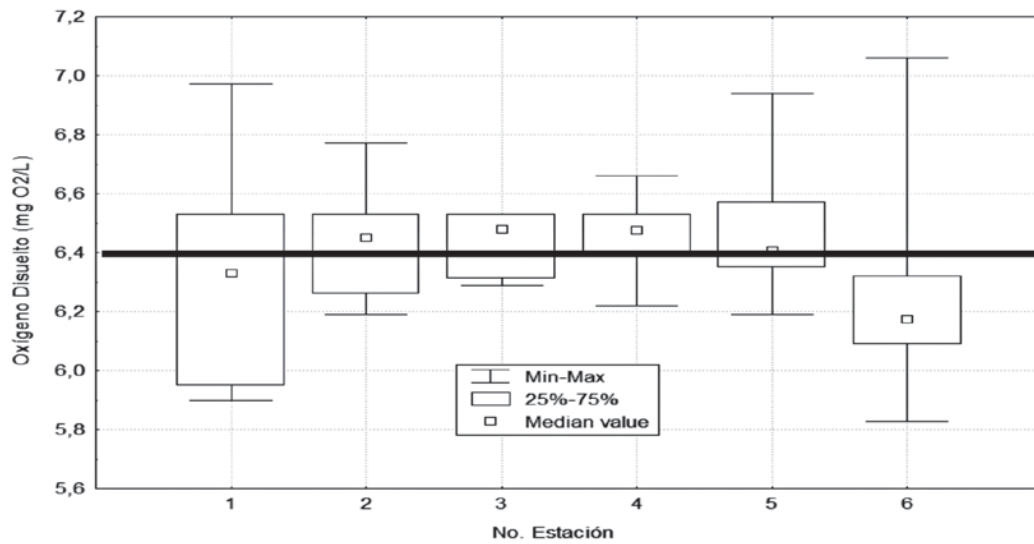


Figura 4.51 Variabilidad del OD en la bahía de Málaga durante la marea baja.

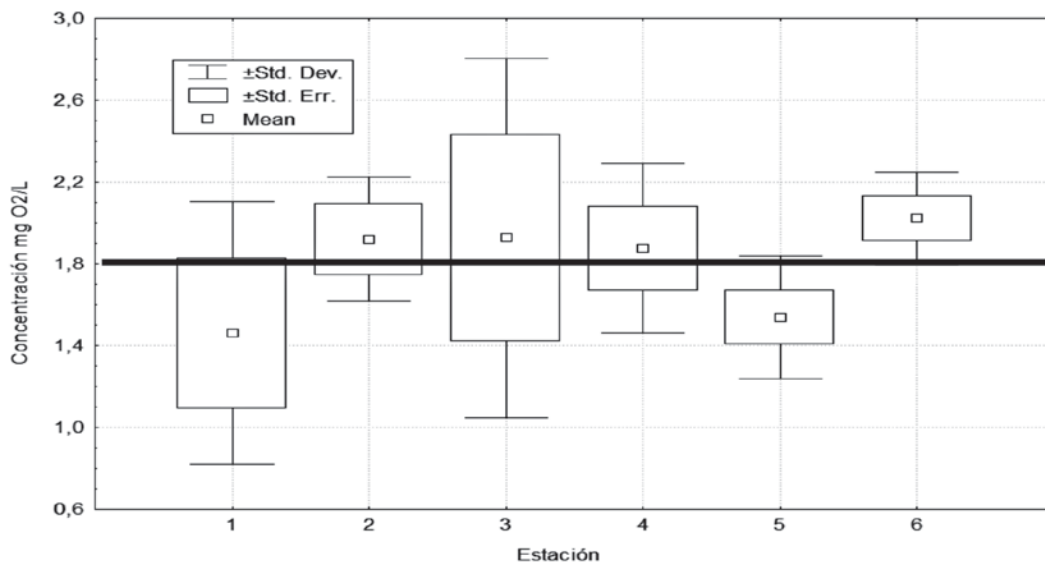


Figura 4.52 Variabilidad de la Oxidabilidad Química de la materia orgánica en bahía Málaga durante la marea baja.

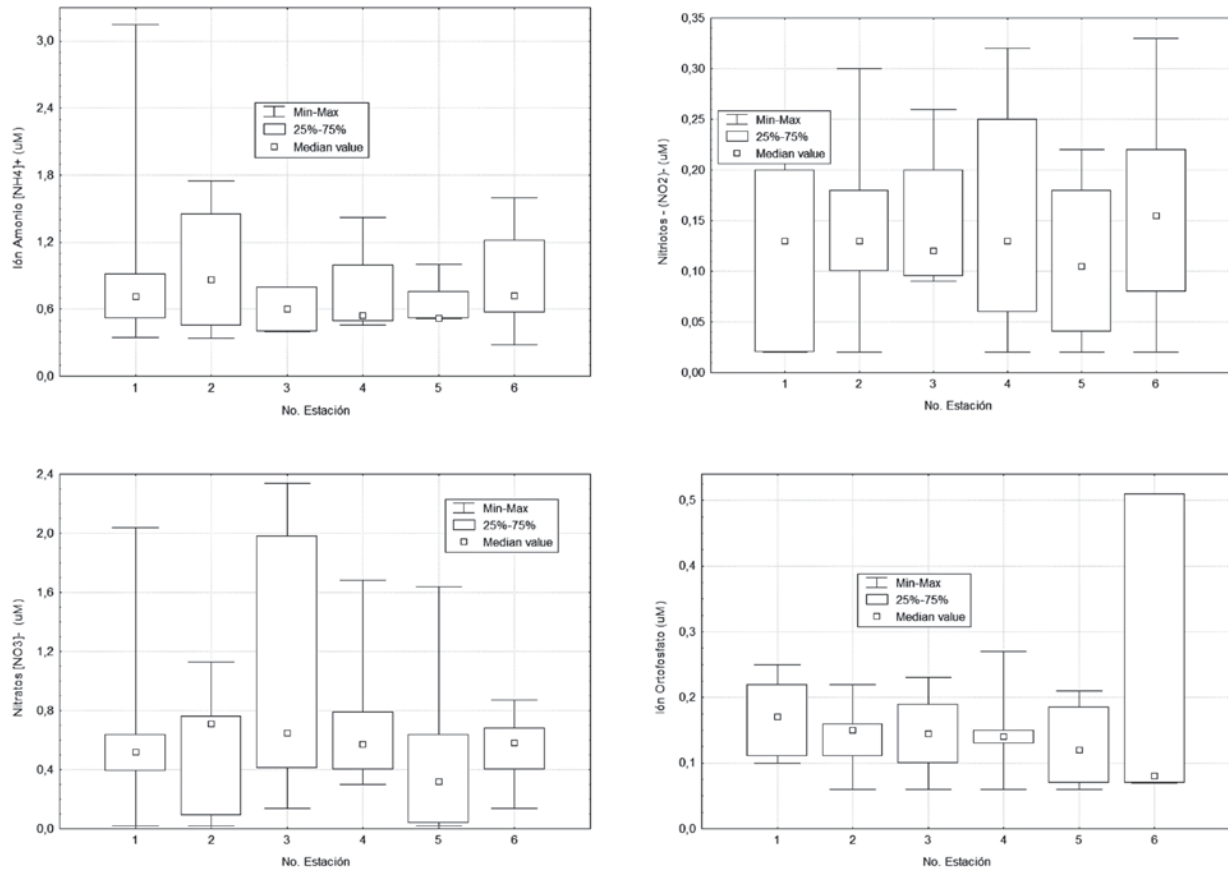


Figura 4.53 Variabilidad de las concentraciones de nutrientes durante la marea baja en la bahía de Málaga.

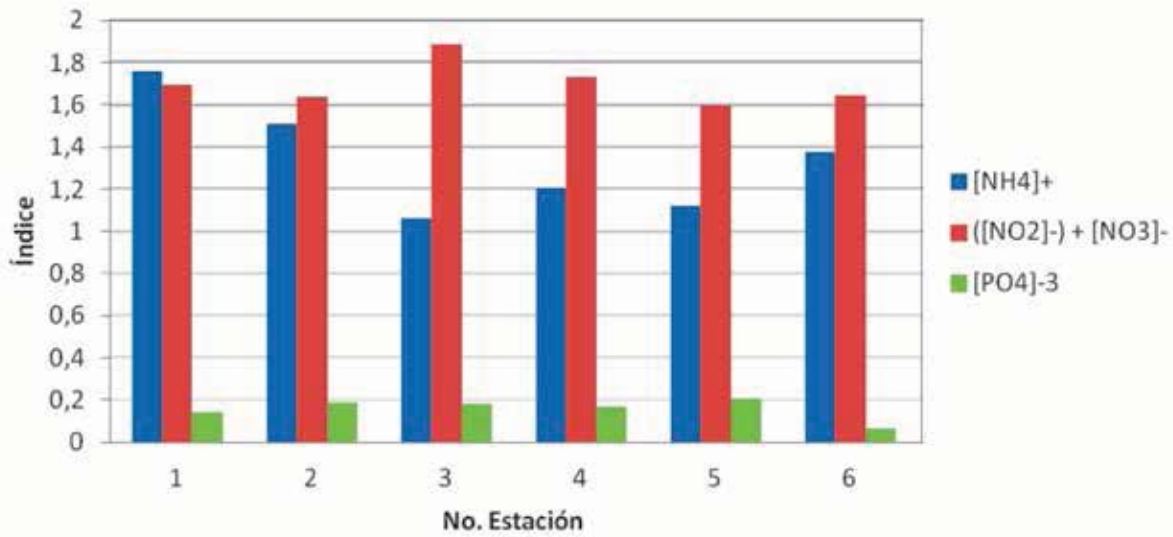


Figura 4.54 Índices Tróficos para las estaciones de muestreo en bahía Málaga.

4.2.5 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN LAS ZONAS COSTERAS DEPARTAMENTALES DEL PACÍFICO COLOMBIANO

Para la región Pacífica se realizó el análisis microbiológico con base en la información colectada en el sistema de monitoreo de la Redcam. Este sistema viene evaluando la calidad de las aguas marinas y costeras del país desde el 2001, bajo la dirección del Instituto de Investigaciones Marinas y Costera (Invemar), con el apoyo de las Corporaciones Autónomas Regionales. En este capítulo se presentan las evaluaciones de Coliformes Totales (CTT) y Coliformes Termotolerantes (CTE) realizadas en las épocas climáticas de lluvia y seca de los años 2006 a 2010. Los muestreos se realizaron en un total de 85 estaciones, de las cuales 14 se encuentran en Chocó, 38 en Valle del Cauca, 15 en Cauca y 18 en Nariño. Estas estaciones están ubicadas en los tributarios más representativos de la zona, los frentes y zonas de importancia turística o de explotación de recursos pesqueros.

La información se analizó tomando como referencia los límites permisibles <200 CTE NMP*100mL⁻¹ para realizar actividades de contacto primario como la natación y el buceo, y el límite permisible de <5.000 CTT NMP*100mL⁻¹ para realizar, en el recurso hídrico, actividades de contacto secundario como los deportes náuticos y la pesca (Decreto 1594 de 1984, Minsalud-1984).

4.2.5.1 Chocó

En el departamento de Chocó se establecieron 14 estaciones, de las cuales ocho corresponden a aguas estuarinas y seis a aguas fluviales (Figura 4.55). Durante el período en estudio se realizaron 105 mediciones para el departamento, donde el 30 % de las concentraciones que se reportaron para CTT fueron superiores al valor de límite permisible de contacto secundario (<5000 CTT NMP*100mL⁻¹; Minsalud-1984). Las estaciones que no cumplieron con lo establecido en la legislación nacional están ubicadas en aguas fluviales, donde el 56 % del incumplimiento se presentó en época seca y el 44 % en época de lluvia. Tabla 4.8 (Invemar, 2011).

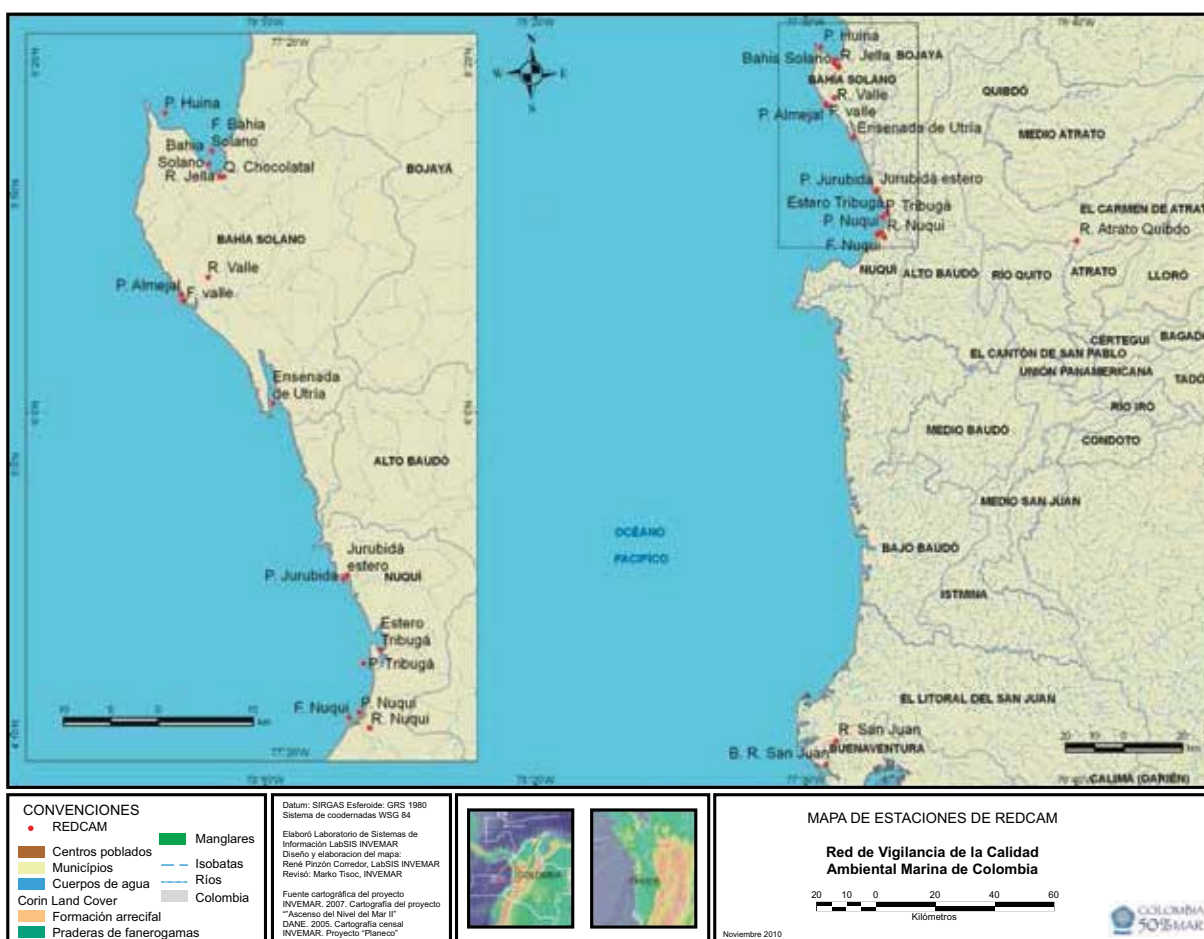


Figura 4.55 Estaciones Redcam en el departamento del Chocó.

Tabla 4.8 Concentración de coliformes totales (NMP*100mL⁻¹) en época climática seca y de lluvias en aguas fluviales del departamento de Chocó durante el período 2006-2010.

| Estación | 2006 | | 2007 | | 2008 | | 2009 | | 2010 | |
|---------------------|---------------------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Seca | Lluvia | Seca | Lluvia | Seca | Lluvia | Seca | Lluvia | Seca | Lluvia |
| Quebrada Chocolatal | 8,0x10 ² | N.D* | 2,4x10 ³ | 7,9x10 ² | 2,4x10 ³ | 4,9x10 ² | N.D* | 4,9x10 ² | 2,4x10 ³ | 3,3x10 ² |
| Atrato Quibdó | N.D* | N.D* | N.D* | N.D* | N.D* | 3,5x10 ³ | N.D* | 1,3x10 ³ | 2,8x10 ³ | N.D* |
| Jella | 2,3x10 ³ | N.D* | 5,4x10 ⁴ | 3,3x10 ³ | 1,1x10 ⁴ | 1,3x10 ³ | N.D* | 5,4x10 ⁴ | 1,3x10 ⁴ | 1,3x10 ³ |
| Nuquí | N.D* | N.D* | 7,0x10 ² | 2,4x10 ³ | 7,9x10 ² | 4,9x10 ² | N.D* | 7,0x10 ² | 9,2x10 ³ | N.D* |
| San Juan | 75 | 200 | 1,1x10 ³ | 3,9x10 ² | 240 | 1,1x10 ² | 6,6x10 ² | 1,5x10 ³ | 6,6x10 ³ | 9,3x10 ² |
| Valle | 3,0x10 ² | N.D* | 1,7x10 ³ | 7,9x10 ² | 4,9x10 ² | 4,9x10 ² | N.D* | 7,9x10 ² | 1,1x10 ³ | 3,3x10 ² |

N.D*: No Detectado

Tabla 4.9 Rangos de coliformes termotolerantes (NMP*100mL⁻¹) en época climática seca y de lluvia en estaciones de aguas estuarinas del departamento de Chocó, período 2006-2010.

| Estación | Seca | | Lluvia | | Casos incumplimiento (%) | n |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|---|
| | Máximo | Mínimo | Máximo | Mínimo | | |
| Huina | 20 | 130 | 20 | 330 | 14 | 7 |
| Bahía Solano | 45 | 790 | 310 | 2400 | 88 | 8 |
| Ensenada de Utría | 20 | 490 | 20 | 170 | 13 | 8 |
| Estero de Tribugá | 20 | 45 | 20 | 330 | 14 | 7 |
| Almejal | 20 | 130 | 20 | 3400 | 25 | 8 |
| Jurubida | 20 | 230 | 20 | 330 | 38 | 8 |
| Nuquí | 130 | 1700 | 45 | 490 | 43 | 7 |
| Tribugá | 18 | 20 | 20 | 230 | 30 | 7 |

De los ríos evaluados, el Jella se considera como el de mayor riesgo a nivel de contaminación microbiológica, por presentar concentraciones de coliformes totales en un rango de 1,3x10³ hasta 5,4x10⁴ NMP*100mL⁻¹, seguido del río Atrato Quibdó con un rango de 1,3x10³ a 3,5x10³ NMP*100mL⁻¹, mientras que el río Valle presenta el menor rango, con 3,0x10² hasta 1,7x10³ NMP*100mL⁻¹ (Vivas-Aguas *et al.*, 2010). La presencia de contaminación fecal en los afluentes está directamente relacionada con las descargas de aguas residuales, tanto municipales como industriales, que deterioran la calidad del líquido, e incrementan los niveles de riesgo para la población que utiliza el recurso en actividades de saneamiento básico, irrigación y recreación. (Haider &

Ali, 2011; Hill *et al.*, 2006; Noble *et al.*, 2003) Las aguas recreacionales del departamento están ubicadas en estaciones de aguas estuarinas. Su calidad microbiológica se estableció por la concentración de bacterias fecales usadas como indicadoras que permiten estimar el factor de riesgo en cuanto a la salud de los bañistas (Abdelzاهر *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2009), donde la relación entre la adquisición de enfermedades respiratorias y gastrointestinales ha demostrado ser biológicamente probable (Fleisher *et al.*, 1996; OMS, 2003; Wade *et al.*, 2006). Las concentraciones reportadas se compararon con el límite de contacto primario de <200 CTE NMP*100mL⁻¹ (Tabla 4.9) establecido en la legislación nacional (Minsalud, 1984; Invemar, 2011).

Tabla 4.10 Análisis histórico de concentraciones de Coliformes Totales y Termotolerantes (NMP*100 mL⁻¹), medidas en aguas marinas, estuarinas y fluviales del Valle del Cauca, período 2006-2010.

| Tipo de agua | Coliformes Totales (NMP*100 mL ⁻¹) | | | Col. Termotolerantes (NMP*100 mL ⁻¹) | | | n |
|--------------|--|-----------------------|-----------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----|
| | Mínimo | Máximo | Promedio | Mínimo | Máximo | Promedio | |
| Marinas | 13 | 1,1 x 10 ⁵ | 6,3 x 10 ³ | 4 | 6,6 x 10 ⁴ | 4,6 x 10 ³ | 91 |
| Estuarinas | 1,8 | 2,4 x 10 ⁶ | 4,6 x 10 ⁴ | 1,8 | 2,4 x 10 ⁶ | 2,6 x 10 ⁴ | 259 |
| Fluviales | 66 | 2,4 x 10 ⁵ | 2,3 x 10 ⁴ | 43 | 2,4 x 10 ⁴ | 5,0 x 10 ³ | 40 |

La estación bahía Solano fue la que tuvo mayor porcentaje de incumplimiento en cuanto a los límites establecidos para actividades de contacto primario (88 %). Esta estación se encuentra influenciada por la presencia de pobladores en la zona, como de turistas. Los usuarios de las playas pueden ser individuos expuestos a contaminantes microbiológicos, bien sea por aguas de escorrentía o fuentes terrestres de contaminación y a la vez causantes del incremento de la contaminación cuando coinciden en grandes aglomeraciones (Elmir *et al.*, 2007; Sunderland *et al.*, 2007). En las otras estaciones, los mayores casos de incumplimiento se presentaron en la época de lluvia, probablemente porque cuando hay temporada invernal se produce un arrastre mayor de microorganismos desde fuentes terrestres de contaminación (Mitch *et al.*, 2010; Ackerman y Weisberg, 2003; Noble *et al.*, 2003).

En general, en el departamento del Chocó, los mayores aportes de coliformes son dados por las aguas fluviales que recorren grandes tramos del territorio antes de llegar a la zona costera y que traen consigo las descargas de aguas domésticas de varios poblados cercanos a sus riberas que no cuentan con sistemas de tratamiento adecuados para su vertido.

4.2.5.2 Valle del Cauca

En este departamento se analizaron 38 estaciones, de las cuales 25 son estuarinas, cuatro fluviales y nueve marinas (Figura 4.56). Se realizaron 390 mediciones y el rango de CTT y CTE osciló entre 1,8 a 2,4 x 10⁶ NMP *100 mL⁻¹, con concentraciones menores de coliformes en las aguas marinas en comparación con las estuarinas y fluviales (Tabla 4.10). Estas diferencias están basadas en dos aspectos: el primero consiste en que algunos factores ambientales como la salinidad, la temperatura, las mareas, la concentración de sólidos y la radiación solar, entre otros, afectan la supervivencia de

los microorganismos en los cuerpos de agua, reduciendo sus concentraciones (Dufour *et al.*, 2006; Selvakumar y Borst, 2006); y la segunda, es que los ríos son cuerpos de agua receptores de residuos líquidos y sólidos que transportan diversidad de microorganismos desde la zona continental a la zona marina.

En este período, los máximos niveles de microorganismos de origen fecal se han encontrado en aguas estuarinas de la bahía de Buenaventura, con concentraciones del orden de 10⁴ NMP de coliformes. Estas concentraciones han variado espacialmente, de tal manera que en la zona interna, donde se encuentra la mayor influencia de la actividad antropogénica, se registran los niveles más altos. Esta zona recibe 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, las zonas media y externa, que están más alejadas del foco de desarrollo del municipio, presentan una reducción en la concentración de coliformes (Figura 4.57).

La zona externa de la Bahía también está influenciada por los ríos Anchicayá, Dagua, Potodó y Raposo que descargan concentraciones de 10³ a 10⁴ NMP de coliformes (Tabla 4.11). Además de recibir los residuos de las poblaciones aledañas, los ríos tienen un papel importante en el desarrollo de las poblaciones, ya que estos son empleados en diferentes actividades como el cultivo de vegetales, extracción de peces (actividades de contacto secundario), recreación y actividades domésticas (actividades de contacto primario), que pueden generar riesgos para la salud de las personas que se benefician del recurso. Los riesgos para las actividades de contacto primario estuvieron entre el 80 % y el 100 %, mientras que para contacto secundario, entre el 30 % y el 70 %. Es importante destacar que las afectaciones dependerán de los tiempos de exposición y el estado inmunológico de las personas.

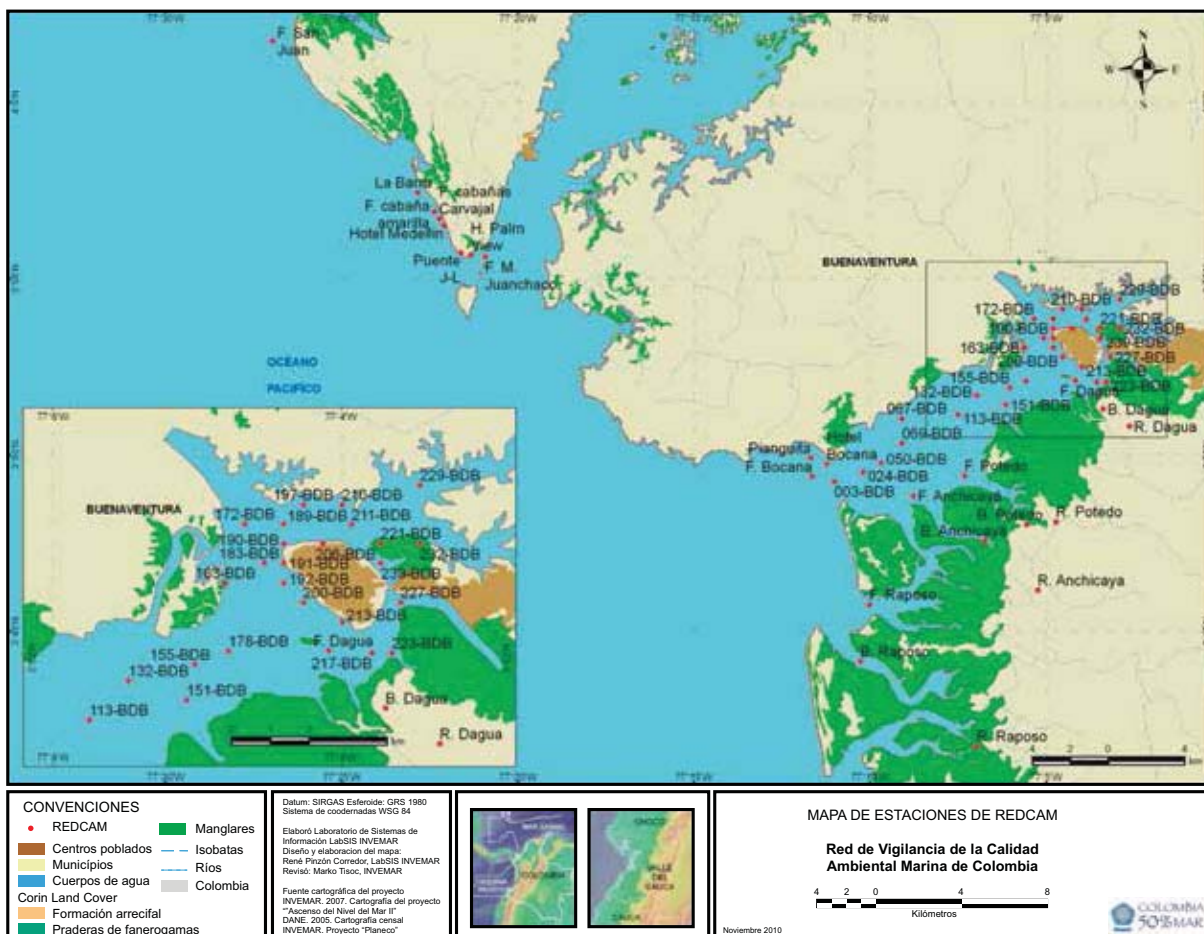


Figura 4.56 Estaciones Redcam en el departamento del Valle del Cauca.

De igual forma, los riesgos sanitarios se pueden presentar en cuerpos de agua destinados a la recreación, tales como las playas que son empleadas para el disfrute de visitantes locales y extranjeros. En el período 2006–2010, en los ocho balnearios evaluados se presentó entre un 45 a un 80 % de casos de incumplimiento de los estándares microbiológicos establecidos en la legislación nacional para actividades de contacto primario como baño y natación (CTE <200 NMP/100 mL, Minsalud, 1984), mientras que para actividades de contacto secundario como los deportes náuticos o paseos

en bote, los casos de incumplimiento estuvieron entre el 20–50 % (Tabla 4.12). Estas condiciones sanitarias son el efecto de múltiples fuentes de contaminación tales como las descargas de tributarios y otras corrientes de agua continental, residuos sólidos, aguas servidas y escorrentías generadas tras procesos de lluvia (Herrera & Suárez 2005; OMS 2003) que incrementan la concentraciones microbianas de origen fecal y hacen suponer la existencia de microorganismos patógenos o causantes de enfermedades en el agua (Sampson *et al.*, 2006).

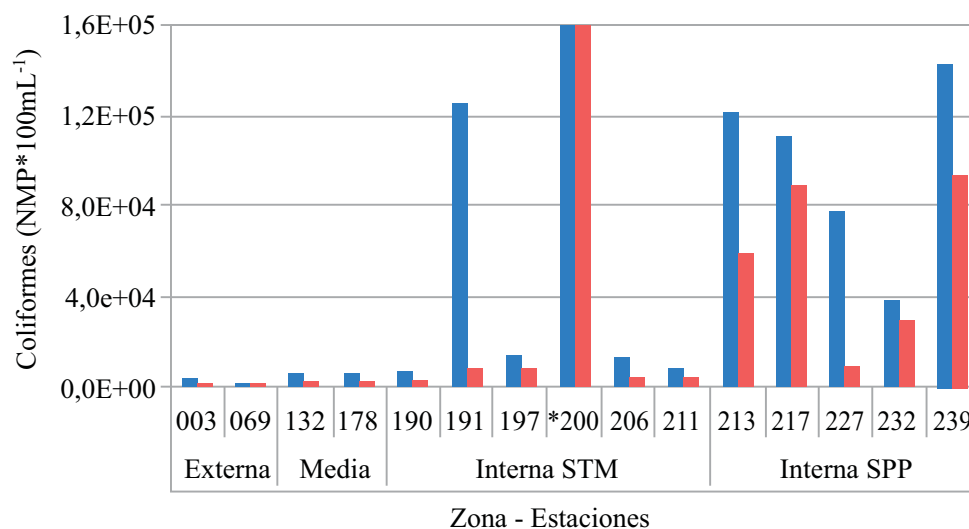


Figura 4.57 Concentración promedio de coliformes Totales y Termotolerantes (NMP*100 mL⁻¹) en las zonas de la bahía de Buenaventura, período 2006-2010. STM: Sector Terminal Marítimo; SPP: Sector Puente Piñal, Industria Pesquera. El (*) representa el valor promedio de coliformes Totales (3,0 x 10⁵ NMP) y Termotolerantes (2,9 x 10⁵ NMP) de la estación bahía de Buenaventura 200.

Tabla 4.11 Concentración promedio de coliformes termotolerantes y totales (NMP NMP*100 mL⁻¹) en aguas fluviales durante la época seca y lluviosa del periodo 2006 – 2010 y relación con los criterios establecidos en la legislación nacional para aguas destinadas a contacto primario y secundario.

| Río | C. Termotolerantes (contacto primario) | | | C. Totales (contacto secundario) | | | n |
|-----------|--|------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|----|
| | Promedio Seca | Promedio Lluvias | Casos incumplimiento (%) | Promedio Seca | Promedio Lluvias | Casos incumplimiento (%) | |
| Anchicayá | 7,9 x 10 ² | 4,5 x 10 ³ | 80 | 1,7 x 10 ⁴ | 7,5 x 10 ³ | 30 | 10 |
| Dagua | 3,2 x 10 ³ | 7, 4 x 10 ³ | 100 | 1,2 x 10 ⁴ | 3,4 x 10 ⁴ | 70 | 10 |
| Potedó | 5,3 x 10 ³ | 9,1 x 10 ³ | 90 | 1,1 x 10 ⁴ | 5,9 x 10 ⁴ | 60 | 10 |
| Raposo | 2,3 x 10 ³ | 4,6 x 10 ³ | 90 | 2,1 x 10 ⁴ | 1,4 x 10 ⁴ | 50 | 10 |

Tabla 4.12 Calidad de las aguas recreacionales en el Valle del Cauca para la realización de actividades de contacto primario (CTE <200 NMP) y secundario (CTT <5.000 NMP), según los criterios de calidad microbiológica establecidos en el decreto 1594 de 1984, período 2006-2010.

| Estación | Coliformes termotolerantes (Contacto primario) | | Coliformes totales (Contacto secundario) | | n |
|-----------------------------|--|--------------------------|--|--------------------------|----|
| | Máximo | Casos incumplimiento (%) | Máximo | Casos incumplimiento (%) | |
| Frente al Muelle Bocana | 2,4 x 10 ⁴ | 80 | 6,6 x 10 ⁴ | 50 | 10 |
| Frente Cabaña amarilla | 1,1 x 10 ⁴ | 60 | 2,4 x 10 ⁴ | 20 | 10 |
| Frente Cabañas Carvajal | 6,6 x 10 ⁴ | 60 | 6,6 x 10 ⁴ | 20 | 10 |
| Hotel Palm View | 2,4 x 10 ⁴ | 73 | 2,4 x 10 ⁴ | 45 | 11 |
| Hotel Bocana | 4,3 x 10 ³ | 56 | 9,3 x 10 ³ | 30 | 9 |
| Frente Hotel Medellín | 6,6 x 10 ⁴ | 70 | 1,1 x 10 ⁴ | 40 | 10 |
| Hotel La Barra | 6,6 x 10 ³ | 50 | 6,6 x 10 ³ | 20 | 10 |
| Piangüita | 4,3 x 10 ³ | 56 | 9,3 x 10 ³ | 22 | 9 |
| Puente Juanchaco Ladrillero | 2,4 x 10 ³ | 45 | 6,6 x 10 ³ | 9 | 11 |

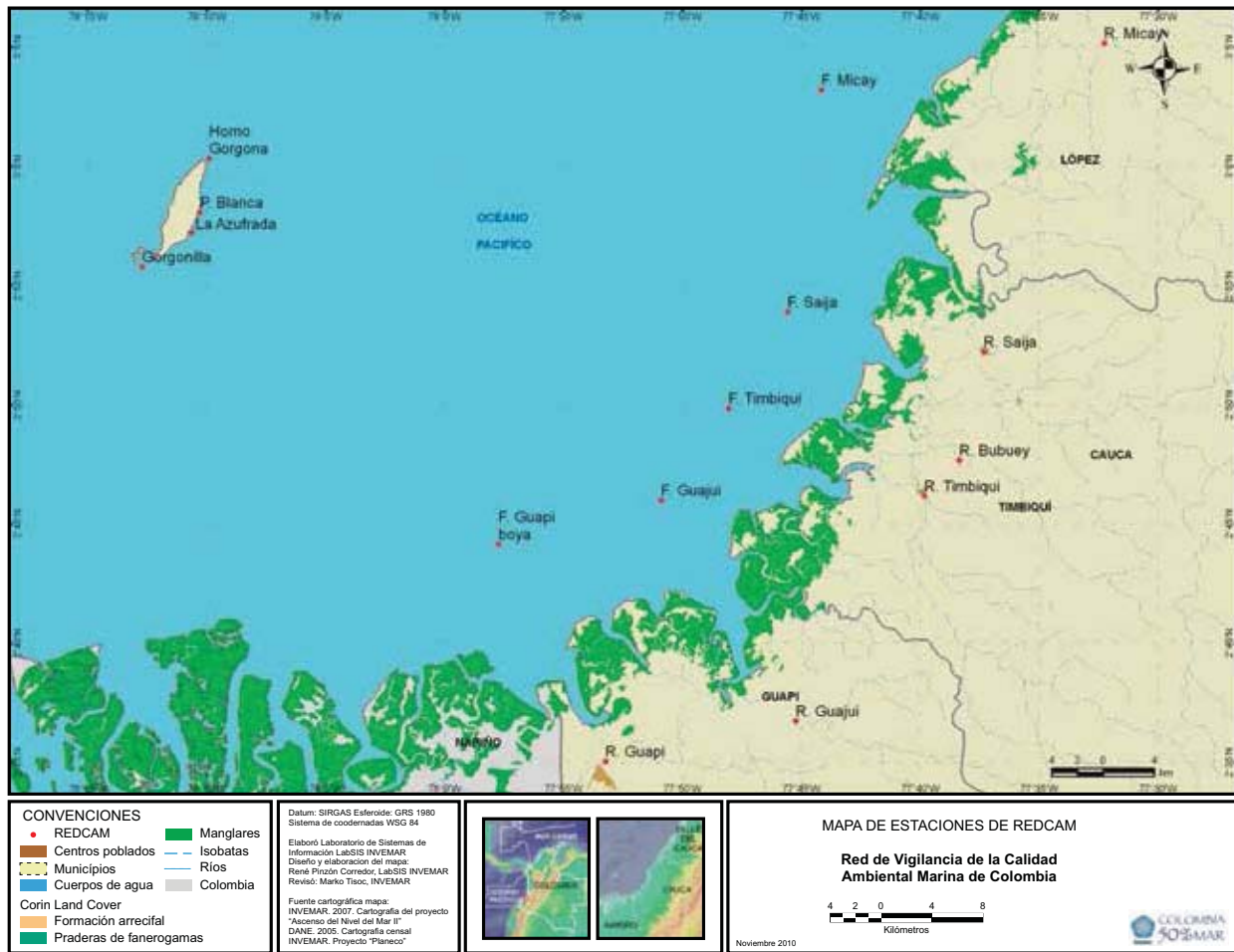


Figura 4.58 Estaciones Redcam, departamento de Cauca.

4.2.5.3 Cauca

Para el departamento de Cauca, se establecieron 15 estaciones, las cuales se distribuyen en cuatro marinas, cinco estuarinas y seis fluviales (Figura 4.58). Las estaciones están agrupadas en tres zonas: la 1, en la isla Gorgona donde están todas las estaciones marinas; la 2, que va desde la desembocadura del río Naya hasta la bahía de Timbiquí, con dos estaciones estuarinas y tres fluviales; y la zona 3, que cubre desde Timbiquí hasta Guapi, en límites con Nariño, con tres estaciones estuarinas y dos fluviales. Durante el período en estudio, se realizaron 136 mediciones para el departamento, donde el 15 % de las concentraciones que se reportaron para Coliformes Totales fueron superiores al valor de límite permisible para realizar actividades de contacto

secundario (<5000 CTT NMP*100mL⁻¹; Minsalud, 1984). El mayor porcentaje de incumplimiento se presentó en la zona 2, con el 33 % en época de lluvia. Tabla 4.13 (Invemar, 2011).

Durante el período de evaluación, la zona 1, comprendida por aguas marinas, cumplió con el valor límite permisible para actividades de deportes náuticos y de pesca, con una tendencia decreciente de CTT, lo que indica condiciones favorables para la explotación de recursos pesqueros. El descenso de los coliformes se debe al cambio de salinidad y al paso de estos microorganismos de un ambiente rico en nutrientes, como los ríos, a un ambiente oligotrófico como el mar (Bordalo *et al.*, 2002).

Tabla 4.13 Porcentaje de incumplimiento para realizar actividades de contacto secundario (<5000 NMP*100mL⁻¹), años 2006 a 2010 en época seca y de lluvias en tres zonas del departamento del Cauca.

| Estación | Época seca | | Época lluvia | |
|----------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| | Número de mediciones | Casos de incumplimiento (%) | Número de mediciones | Casos de incumplimiento (%) |
| Zona 1 | 20 | 0 | 20 | 0 |
| Zona 2 | 25 | 12 | 21 | 33 |
| Zona 3 | 25 | 24 | 25 | 20 |

Tabla 4.14 Concentración de Coliformes Termotolerantes (NMP*100mL⁻¹) en época climática seca y de lluvia de aguas recreacionales en el departamento de Cauca, período 2006 a 2010.

| Estación | 2006 | | 2007 | | 2008 | | 2009 | | 2010 | |
|------------------|-------|--------|-------|--------|------|--------|--------|--------|------|--------|
| | seca | Lluvia | Seca | lluvia | seca | Lluvia | Seca | lluvia | seca | lluvia |
| Antiguo Muelle | 130,0 | 2,0 | 33,0 | 1,8 | 20,0 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 0,9 |
| Gorgonilla | 170,0 | 2,0 | 17,0 | 22,0 | 13,0 | 1,8 | 7,8 | 1,8 | 1,8 | 49,0 |
| Horno Gorgonilla | 130,0 | 4,0 | 23,0 | 1,8 | 20,0 | 1,8 | 540,0* | 1,8 | 1,8 | 2,0 |
| Playa Blanca | 170,0 | 2,0 | 140,0 | 240,0* | 13,0 | 1,8 | 33,0 | 1,8 | 6,8 | 0,9 |

*Valores que superan el límite permisible de contacto primario.

En la zona 3, el mayor porcentaje de incumplimiento se presentó en época seca. La presencia de CTT en las zonas 2 y 3 puede ser atribuible al incremento de la escorrentía de aguas fluviales presentes en estas zonas, las cuales producen un aumento en la densidad de bacterias (WHO, 1999; Figeras *et al.*, 2000). Por otro lado, el vertimiento de aguas servidas, lixiviados de botaderos de basura, desechos orgánicos y agropecuarios de las poblaciones ribereñas de Puerto Saija, Guapi, Noanamito y San José de Guare, influyen directamente en la carga de CTT en los tributarios del departamento (Vivas-Aguas *et al.*, 2010).

La calidad sanitaria de las playas se evaluó por medio de las concentraciones de CTE reportadas en época seca y de lluvia. En la zona 1, el 100 % de las mediciones en las estaciones Antiguo Muelle y Gorgonilla, y el 90 % de las mediciones en Horno Gorgonilla y Playa Blanca, cumplieron con el límite establecido por la legislación nacional para actividades como la natación o el buceo (Tabla 4.14; Minsalud, 1984). La distancia entre la zona 1 y el borde de costa es aproximadamente de 35 Km, por esta razón la carga microbiológica que traen consigo los tributarios del departamento no se ve reflejada en las concentraciones de CTE en las playas de la zona y,

por tanto, se consideran como aptas para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario.

Al igual que en otros departamentos de la región, la baja calidad sanitaria se presentó en las estaciones de aguas fluviales durante las épocas de lluvia. Esto se debe a la continua descarga de aguas domésticas de las poblaciones ribereñas que incrementan la carga microbiana junto a la resuspensión de sedimentos (Obiri-Danso *et al.*, 2005; Noble *et al.*, 2003).

4.2.5.4 Nariño

En el departamento de Nariño se analizaron 18 estaciones, dos marinas, siete estuarinas y nueve fluviales (Figura 4.59). Se realizaron en total 171 mediciones, de las cuales las concentraciones más altas se hallaron en las aguas fluviales, sin diferencias entre las épocas climáticas (Tabla 4.15). Las concentraciones de microorganismos en los ríos se deben, principalmente, a las descargas de aguas residuales de las poblaciones cercanas (Abraham, 2011), especialmente en lugares con baja cobertura de alcantarillado como el departamento de Nariño, donde sus poblaciones no superan el 10 % de cobertura (Troncoso *et al.*, 2009).

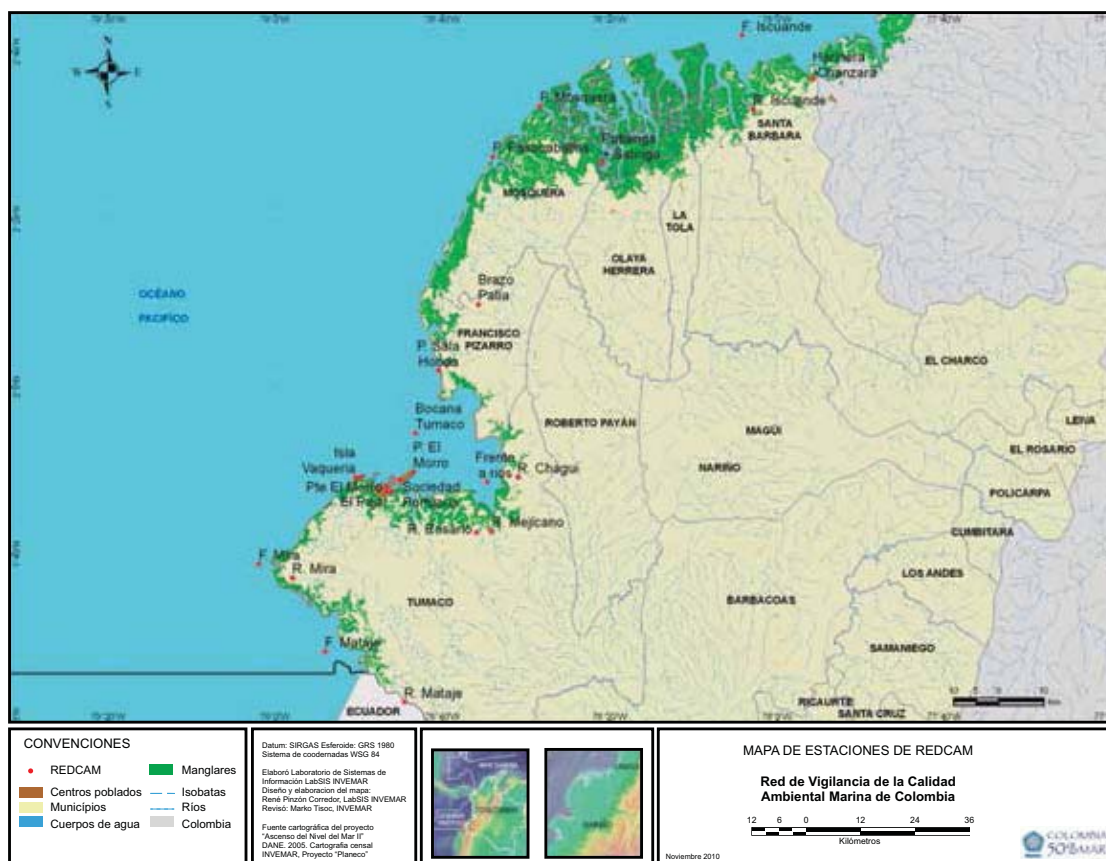


Figura 4.59 Estaciones Redcam en el departamento de Nariño.

Tabla 4.15 Análisis histórico de las concentraciones de Coliformes Totales y Termotolerantes (NMP*100 mL⁻¹) medidas en aguas marinas, estuarinas y fluviales de Nariño, periodo 2006-2010.

| Tipo de agua | Coliformes Totales (NMP*100 mL ⁻¹) | | | Coliformes Termotolerantes (NMP*100 mL ⁻¹) | | | n |
|--------------|--|-----------------------|-----------------------|--|-----------------------|-----------------------|----|
| | Mínimo | Máximo | Promedio | Mínimo | Máximo | Promedio | |
| Marinas | 18 | 1,6 x 10 ⁴ | 2,1 x 10 ³ | 18 | 1,6 x 10 ⁴ | 2,0 x 10 ³ | 20 |
| Estuarinas | 17 | 3,0 x 10 ⁴ | 2,3 x 10 ³ | 117 | 3,0 x 10 ⁴ | 2,0 x 10 ³ | 63 |
| Fluviales | 130 | 1,6 x 10 ⁵ | 7,6 x 10 ³ | 78 | 1,6 x 10 ⁵ | 4,0 x 10 ³ | 88 |

En el departamento de Nariño, las aguas marino costeras son aprovechadas para múltiples fines económicos como la pesquería artesanal, donde se realiza la extracción de moluscos, crustáceos y pesca blanca mediante la inmersión y contacto directo, tareas que al realizarse en aguas que sí están contaminadas pueden representar un riesgo a nivel de salud. En este período, el nivel de Coliformes Totales en ocho estaciones mostró condiciones insuficientes para actividades de contacto secundario; sin embargo, hay que resaltar que durante los cinco años, los ríos Rosario, Mejicano Iscuandé, la estación Frente Ríos y Harinera Chanzara han presentado condiciones

microbiológicas que favorecen el desarrollo seguro de estas actividades (Tabla 4.16).

Todos los cuerpos de agua del departamento presentaron riesgos potenciales para la salud de las personas que usan el recurso, encontrando el menor porcentaje de casos de incumplimiento en las estaciones Bocana Tumaco y Frente Ríos, en la bahía de Tumaco. En estas áreas es posible que los productos marinos puedan albergar y acumular en su sistema, microorganismos patógenos que generen afectaciones sobre la salud del animal o de los consumidores (Garay *et al.*, 2006).

Tabla 4.16 Calidad del agua, departamento de Nariño, para la realización de actividades de contacto primario (CTE <200 NMP) y secundario (CTT <5.000 NMP), según criterios de calidad microbiológica establecidos en el decreto 1594 de 1984, período 2006-2010.

| Zona | Estación | Coliformes Totales | | | Coliformes Termotolerantes | | | n |
|------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|----|
| | | Mínimo | Máximo | Casos de incumplimiento (%) | Mínimo | Máximo | Casos de incumplimiento (%) | |
| Punta Cascajal – Ecuador | R. Mataje | 2,3 x 10 ² | 7,9 x 10 ³ | 11 | 2,3 x 10 ² | 3,3 x 10 ³ | 100 | 9 |
| | R. Mira | 2, 3 x 10 ³ | 1,1 x 10 ⁴ | 40 | 1,0 x 10 ² | 5, 0x 10 ³ | 100 | 10 |
| Bahía Tumaco | Sociedad Portuaria | 7,8 x 10 | 1,6 x 10 ⁴ | 10 | 4,5 x 10 | 1,6 x 10 ⁴ | 90 | 10 |
| | R. Rosario | 1,30 x 10 ² | 3,3 x 10 ³ | 0 | 7,8 x 10 ² | 2,3 x 10 ³ | 80 | 10 |
| | R. Mejicano | 2,00 x 10 ² | 4,9 x 10 ² | 0 | 2,0 x 10 ² | 3,3 x 10 ³ | 89 | 9 |
| | Frente a Ríos | 2,0 x 10 | 7,9 x 10 ² | 0 | 2,0 x 10 | 4,9 x 10 ² | 30 | 10 |
| | R. Chagüí | 4,5 x 10 ² | 7,9 x 10 ³ | 20 | 200 | 5,0 x 10 ³ | 90 | 10 |
| | Bocana Tumaco | 1,8 x 10 | 1,6 x 10 ⁴ | 10 | 1,8 x 10 ² | 1,6 x 10 ³ | 20 | 10 |
| | Pte El Pindo | 7,9 x 10 ² | 1,6 x 10 ⁴ | 60 | 4,9 x 10 ² | 1,6 x 10 ⁴ | 100 | 10 |
| Bahía Guapi - Punta Cascajal | Brazo Patía | 7,80 x 10 ² | 2,4 x 10 ⁴ | 27 | 7,8 x 10 ² | 2,4 x 10 ⁴ | 91 | 11 |
| | Patianga + Satinga | 2,3 x 10 ³ | 9,2 x 10 ³ | 50 | 1,3 x 10 ³ | 3,5 x 10 ² | 100 | 6 |
| | R. Iscuandé | 1,3 x 10 ² | 5,0 x 10 ⁵ | 0 | 7,8 x 10 ² | 2,3 x 10 ³ | 100 | 9 |
| | Harinera – Chanzara | 4,5 x 10 ² | 3,3 x 10 ³ | 0 | 7,8 x 10 ² | 7,0 x 10 ² | 70 | 10 |

En relación con la calidad microbiológica de las aguas de uso recreacional, se encontró que en las cinco playas evaluadas, entre el 20 y 70 % de las veces se presentaron condiciones insuficientes para el baño y la natación, en tanto que para actividades de contacto secundario, como deportes náuticos, sólo la playa Sala Honda registró un caso de calidad inadecuada para este uso (Tabla 4.17). El balneario playa Sala Honda ha presentado recurrentemente condiciones sanitarias insuficientes, 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

localizadas a lo largo de su cuenca, transportándolos a la zona costera (Garay *et al.*, 2006). La detección del grupo Coliformes en las playas, es un indicador de la presencia de agentes patógenos que tras contacto o ingestión pueden causar variedad de afecciones tales como gastroenteritis, patologías respiratorias, dermatológicas e infecciones en oídos, nariz y garganta (Hose *et al.*, 2005).

Tabla 4.17 Calidad de las aguas recreacionales del departamento de Nariño para la realización de actividades de contacto primario (CTE <200 NMP) y secundario (CTT <5.000 NMP), según criterios de calidad microbiológica establecidos en el decreto 1594 de 1984, período 2006-2010.

| Estación | Coliformes termotolerantes (Contacto primario) | | Coliformes totales (Contacto secundario) | | n |
|--------------------|---|-----------------------------|---|-----------------------------|----|
| | Máximo | Casos incumplimiento (%) | Máximo | Casos incumplimiento (%) | |
| Playa Bocagrande | 7,9 x 10 ² | 22 | 2,4 x 10 ³ | --- | 9 |
| Playa El Morro | 5,0 x 10 ² | 30 | 5,0 x 10 ² | --- | 10 |
| Playa Mosquera | 5,0 x 10 ³ | 20 | 5,0 x 10 ³ | --- | 10 |
| Playa Pasacaballos | 7,9 x 10 ² | 30 | 1,4 x 10 ³ | --- | 10 |
| Playa Sala Honda | 1,6 x 10 ⁴ | 70 | 1,6 x 10 ⁴ | 10 | 10 |

CAPÍTULO V

ESCENARIOS ANTE UN DERRAME DE HIDROCARBUROS



En este capítulo, se presentan los posibles destinos de una mancha de hidrocarburos en las bahías de Tumaco y Buenaventura.

Citar este capítulo como:

Casanova, R y M. Zambrano. 2012. Escenarios ante un derrame de hidrocarburos. Pp. 128-133. En: DIMAR-CCCP. 2012. Panorama de la contaminación marina del Pacífico colombiano 2005-2010. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. Serie Publicaciones Especiales Vol. 7, San Andrés de Tumaco, Colombia. 158 pp.

5.1 POSIBLE DESPLAZAMIENTO DE UNA MANCHA DE PETRÓLEO ANTE UN DERRAME EN LA BAHÍA DE TUMACO

En el contexto nacional la exploración, explotación y transporte de hidrocarburos son actividades importantes relacionadas con el desarrollo del sector energético del país, constituyendo esta última actividad una de las potenciales fuentes de contaminación debido a los accidentes que se pueden generar tanto en tierra como en el mar. Los derrames en cuerpos de agua costeros y oceánicos, se exponen a factores como: corrientes, mareas, oleaje, campo de viento y procesos fisicoquímicos, los cuales configuran un complejo escenario para los programas de contingencia.

En el Pacífico colombiano existen dos puertos en los cuales se efectúan, en mayor o menor grado, actividades de transporte de hidrocarburos y sus derivados, las cuales pueden ocasionar derrames accidentales al cuerpo de agua que afectarían la fauna y flora del área así como las actividades de pesca y extracción de recursos marinos de subsistencia para la región.

Un riesgo ambiental se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno que afecta directa e indirectamente al medio ambiente. De la reducción depende poder garantizar una adecuada calidad del entorno. Existen diversos métodos de evaluación del riesgo; algunos son de carácter general y de gran sencillez, otros más específicos y complejos. Como objetivo común de ellos se trata de determinar dos parámetros fundamentales expresados por la siguiente fórmula: $\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencias}$. De acuerdo con esta fórmula, el riesgo puede reducirse de dos formas distintas, así:

Una, dirigida a la disminución de probabilidad de ocurrencia; por ejemplo, implementando medidas de seguridad y realizando con frecuencia mantenimientos preventivos. Otra, dirigida a la reducción del daño una vez se ha producido; como por ejemplo, el uso de medios de contención.

Los derrames de petróleo afectan directamente al ambiente costero y ocasionan: interferencia en los procesos biogeoquímicos, en el ciclo reproductivo y el desarrollo normal de los organismos; mortalidad de los organismos costeros por asfixia e impregnación; daños potenciales por la pérdida económica temporal, asociada a la actividad pesquera, acuícola y turística, entre otras consecuencias.

En la bahía de Tumaco se tiene identificada una fuente de riesgo relacionada con el derrame de hidrocarburos desde la Terminal Multiboyas de Ecopetrol, para lo cual se presentan las siguientes consideraciones que pueden contribuir en la toma de decisiones orientadas a la disminución del daño ecológico ante un derrame, basadas en el conocimiento de la Bahía.

En la bahía de Tumaco, se destaca el patrón de distribución espacial de la productividad primaria ligada al comportamiento de los nutrientes y la materia orgánica; por ende, la zona de las desembocaduras de los ríos Rosario, Tablones, Chagüí, Colorado y Curay, sector comprendido entre Punta Laura y Trujillo, proporciona condiciones óptimas para el desarrollo de este componente; asimismo, los ecosistemas circundantes son bosques de manglar que también contribuyen a su enriquecimiento, y por ende se constituyen en zonas de alta vulnerabilidad, en donde acciones antrópicas como los derrames de hidrocarburos son factores que amenazan la biodiversidad de estos ambientes de alta sensibilidad.

La simulación de la trayectoria de los derrames de petróleo y su evolución por la alteración de las condiciones ambientales son esenciales para la respuesta ante eventos de contaminación, la puesta en marcha de los planes de contingencia y la toma de decisiones ambientales. En este campo, el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico- Cccp, ha explorado la modelación matemática como una herramienta en pro de contribuir a la respuesta ante la evolución de un derrame de petróleo. El modelo numérico implementado y validado para las bahías de Tumaco y Buenaventura, desarrollado por MARETEC (Marine and Environmental Technology Research Center), integra un módulo lagrangiano que interactúa con el módulo de Petróleo (contempla sus características físicas teniendo en cuenta las condiciones ambientales).

La Figura 5.1, representa los escenarios tras un posible derrame en la Terminal Multiboyas de Ecopetrol (Figura izquierda). De acuerdo a los resultados de la modelación, las primeras 12 horas muestran una expansión de la mancha de hidrocarburo en dirección a la isla de Tumaco, contaminando las playas de la zona de El Bajito y El Morro (Figura, derecha-arriba). Asimismo, se presentan los escenarios a las 12 horas (segundo día (izquierda-abajo) y la etapa final de modelación al tercer día (derecha-abajo). Estos escenarios concuerdan con lo expuesto en el informe técnico del Cccp, 1996; y por Cabrera & Reyna (1997), con relación al derrame ocurrido el 26 de febrero de 1996 en la Terminal Multiboyas (Rodríguez & Puentes, 2010), arribando e impactando la playa de Cascajal.

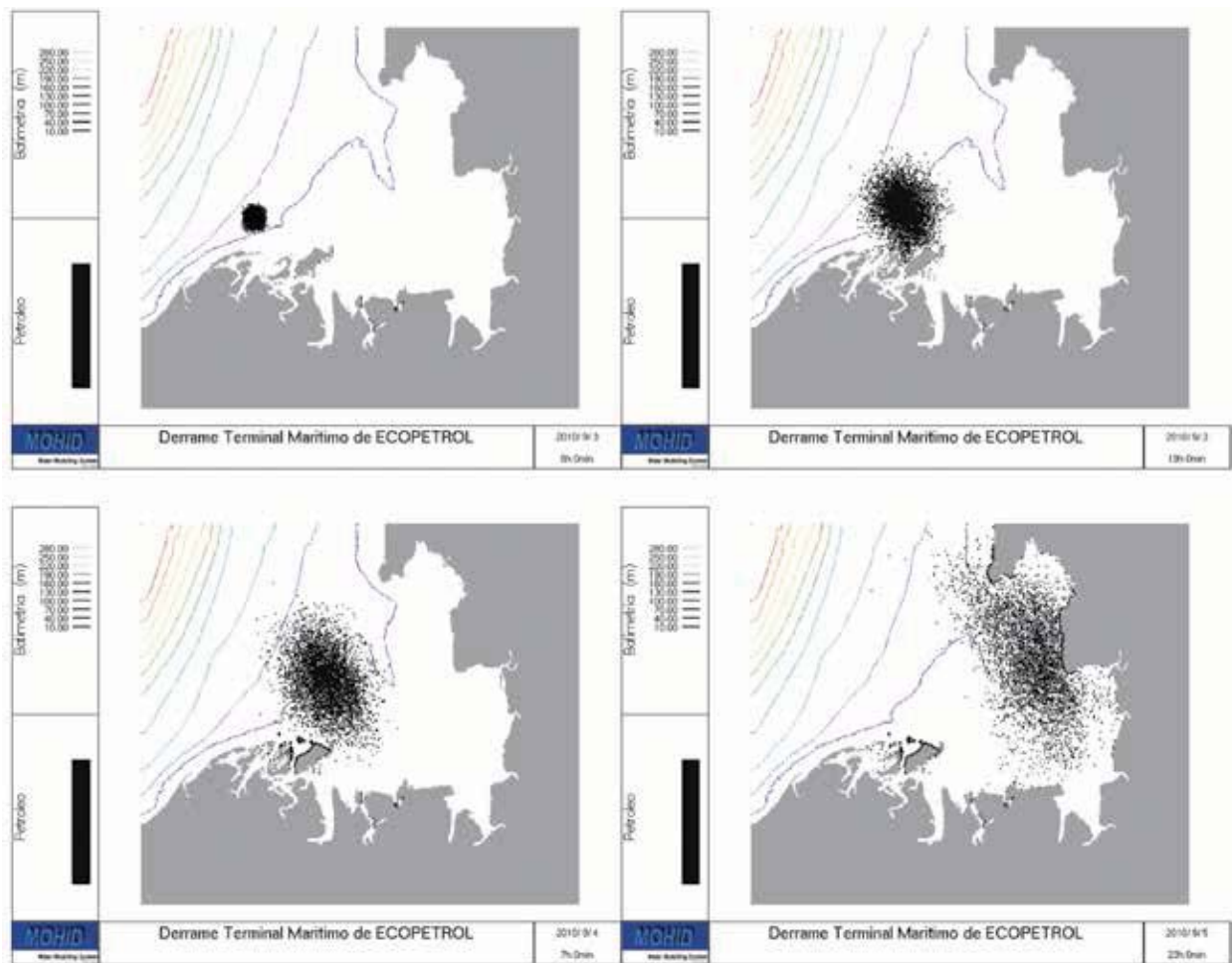


Figura 5.1 Escenario de derrame accidental de hidrocarburos. En la etapa inicial (izquierda-arriba), a las 12 horas (derecha-arriba), segundo día (izquierda-abajo) y la etapa final de modelación al tercer día (derecha-abajo). **Fuente:** Rodríguez & Puentes, 2010.

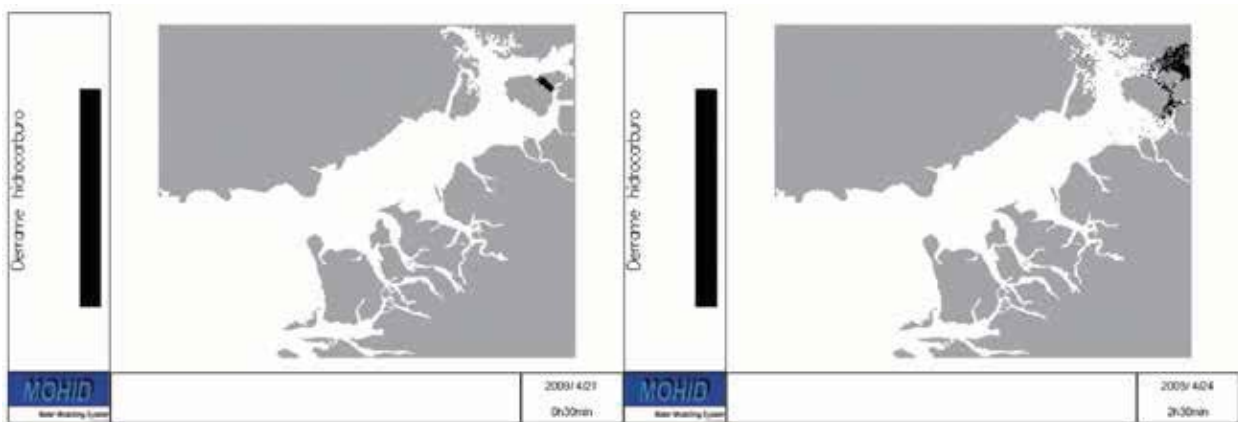


Figura 5.2 Primer escenario de derrame accidental de hidrocarburos en la etapa inicial (izquierda) y la etapa final (derecha), después de 4 días.

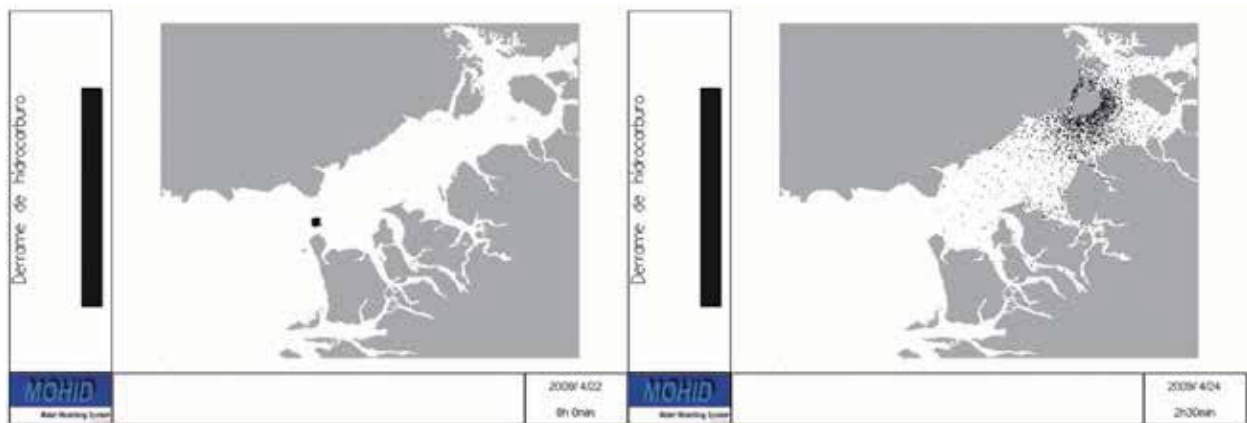


Figura 5.3 Segundo escenario de derrame accidental de hidrocarburos en la etapa inicial (izquierda) y la etapa final (derecha), después de 4 días.

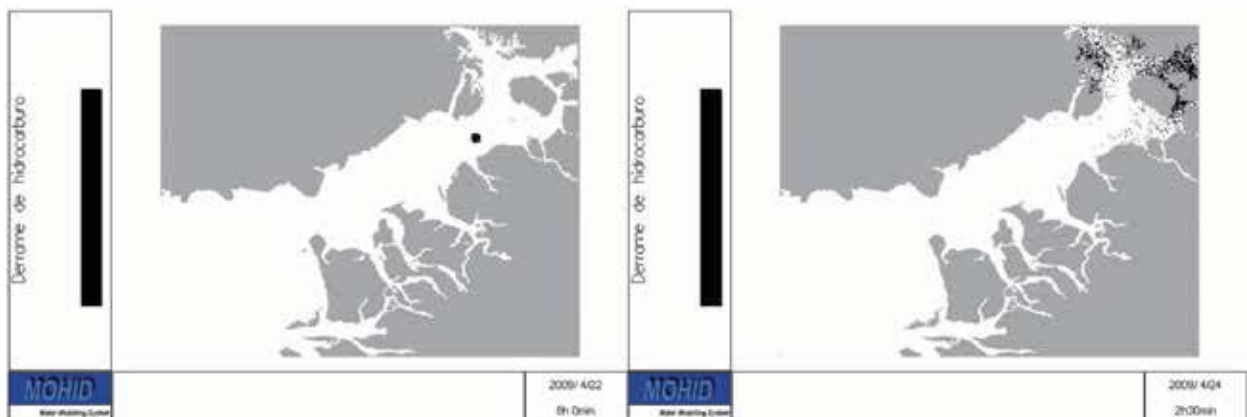


Figura 5.4 Tercer escenario de derrame accidental de hidrocarburos en la etapa inicial (izquierda) y la etapa final (derecha), después de 4 días.

Fuente: Mohid, Cccp, 2009.

5.2 POSIBLE DESPLAZAMIENTO DE UNA MANCHA DE PETRÓLEO ANTE UN DERRAME EN LA BAHÍA DE BUENAVENTURA

El puerto de Buenaventura es de gran importancia para la economía del país lo cual es indiscutible, reflejado en el hecho de que a través de sus instalaciones, se exporta la totalidad del azúcar que se produce en Colombia, el 80 % del café y el 100 % de la melaza. Igualmente, se importa el 83 % de los productos químicos inorgánicos, el 81 % de las láminas metálicas, el 72 % del maíz y el trigo y el 60 % de los productos químicos industriales (Cebun, 2009). El intenso tráfico marítimo a través del canal de acceso le crea un alto riesgo ante siniestros marítimos, por lo cual se debe contar con planes de contingencia eficaces con el fin de prevenir y/o minimizar hechos desastrosos.

Con el fin de aportar información que permita minimizar el riesgo ante eventos de contaminación en la Bahía, se ha estimado la trayectoria de sustancias oleosas a causa de un derrame de hidrocarburos, una vez ocurra en alguno de los puntos indicados en las Figuras 5.2, 5.3 y 5.4. Los resultados representan tres escenarios de derrame accidental durante 10 minutos al interior de la bahía de Buenaventura modelados durante 4 días. El primer escenario corresponde al punto de descarga del poliducto del Pacífico, propiedad de Ecopetrol, en la isla

de Cascajal; el segundo escenario concierne a un derrame en la entrada de la Bahía, frente a Punta Soldado; y el tercer escenario corresponde a la mitad de la Bahía en cercanías de la boya de señalización número 29 (Cccp, 2009a).

Con base en los resultados de estas simulaciones, se puede connotar que realmente ante un siniestro que se presente por sustancias oleosas en la bahía de Buenaventura, se causarían graves consecuencias socio-ambientales para la isla de Cascajal, sector en donde se desarrollan la mayoría de las actividades económicas y de servicios del municipio. Las predicciones de la modelación numérica direccionan las sustancias hacia la parte interna de la Isla, afectando los esteros Gamboa, Aguacate y San Antonio, entre otros. De forma similar, el área comprendida entre la isla Cangrejo y el estero Gamboa presentan alto riesgo de contaminación por derrames, siendo las áreas de manglar altamente amenazadas debido a la sensibilidad que les caracteriza.

En este punto, la información presentada contribuye a una reacción oportuna y adecuada por parte de las entidades encargadas de atender un incidente de este tipo, logrando de esta manera optimizar el uso de los recursos materiales y humanos comprometidos en prevenir y/o minimizar los daños que pudieran ocasionar los derrames de petróleo en dichas zonas.

INFERENCIAS BIOÉTICAS

La primera enseñanza bioética que se obtiene de la ecología es aprender a compartir los ecosistemas, en interacción y reciprocidad con todos los otros seres bióticos y abióticos, sin avasallarnos mutuamente, a sabiendas de que todos necesitan y se complementan gracias a las diferencias que hay que privilegiar para poder conocernos y afirmarnos como individuos únicos e irrepetibles, y en que todos construimos la biodiversidad natural y cultural.

Las siguientes inferencias son extraídas del documento de Betancourt *et al.*, 2000.

Tardíamente el ser humano está dándose cuenta del trastorno al que se ve obligado con la destrucción que hace de los recursos naturales y el medio ambiente.

Un ambiente sano y los recursos biológicos naturales son la mayor riqueza que pueda tener una región, y de ella dependerá todo su desarrollo socioeconómico y su calidad de vida en el futuro.

El hombre en sus actividades debe causar el menor daño posible a la naturaleza, y en donde haya hecho una intervención debe iniciar labores de remediación y restauración de especies y ambiente.

El suelo debe ser considerado como un producto de la vida, por consiguiente debe ser respetada su integridad.

El ser humano debe aprender a obrar localmente y a pensar globalmente las consecuencias de sus actos, asumiendo la responsabilidad de sus acciones. Y por ende tiene una responsabilidad para con las futuras generaciones. Los recursos no pueden ser malgastados.

A pesar de que el panorama presente y futuro no es muy placentero, se tiene la esperanza de salir adelante si se crea una conciencia de responsabilidad, y con una actitud decidida se ayuda en no propiciar el aumento de la entropía.

Aunque carecen de racionalidad, ningún animal silvestre destruye su casa o su hábitat. Sin embargo, el hombre con su propia mano malogra lo que la naturaleza ha construido para él en miles de años. Los animales y las plantas vinieron primero que el hombre, pero se están desplazando y se desconoce su valor en la biota universal.

La naturaleza no necesita del hombre; es el hombre quien no puede existir sin ella. Los humanos no están solos en el universo ni en la biosfera y quizás somos los que más necesitamos de cada uno de los otros seres con los cuales compartimos nuestro hábitat.

No debemos permitir que desaparezcan las zonas verdes y que se reduzca el espacio público, pues hay hacinamiento en las comunidades, escasean los sitios de recreación, los paisajes naturales son reemplazados por una invasión de construcciones, carteles, propaganda y vallas, etc., que constituyen un verdadero factor de contaminación visual.

Es importante incluir dentro de las actividades prioritarias, promover en la comunidad una conciencia de respeto por los derechos de la naturaleza y los de la especie humana, como parte de ella con la biodiversidad que aún la acompaña y a la cual se debe el éxito de su especie.

Contaminar el ambiente es contaminar nuestra vida y poner en peligro nuestra calidad de vida, la de nuestros descendientes y la de los demás organismos con los que compartimos el hábitat, el tiempo de existencia y la contemporaneidad evolutiva.

Los seres vivos necesitan de la naturaleza. No solo para no morir, ni siquiera para sobrevivir, sino para vivir en razón de que la vida está constituida por las necesidades, bien sean satisfechas o frustradas.

No autosuficiencia (dependencia total), pues ningún ser vivo tiene posibilidad de autoabastecerse, aislado de todas sus necesidades básicas.

Interdependencia. El principio anterior nos lleva a entender la mutua exigencia; como que ningún ser vive, sino que convive tomando de los demás lo necesario.

Interacción. Toda actividad incide en los seres para bien o para mal. Toda acción ajena incide en nosotros. Esto implica la superación de la afirmación de una acción a secas dissociada del entorno.

Progreso. No se trata de un proceso acumulativo de objetos, sino de una transformación cualitativa de la humanidad (sentido) que, por otra parte, se afirmará sobre el respeto, valoración y promoción de todo aquello que es la vida y la hace posible.

Inviolabilidad. La vida es sagrada e inviolable en

su ser. No puede afirmarse una cultura de la vida sobre la base de la violencia y la depredación.

Sensibilidad. Basada en la contemplación y valoración del carácter bello y armónico de la naturaleza, despertando nuevamente nuestra capacidad de asombro y maravilla.

Asumir la crisis ecológica como la crisis de la humanidad, haciendo todo lo posible para superarla (responsabilidad).

Una toma de conciencia de la naturaleza como parte integral de la vida humana, y no como simple instrumento de cultivo para ulteriores utilidades; esto es, un reconocimiento de la importancia de la naturaleza, al lado del reconocimiento de la dignidad humana.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdelzaher AM, Wright ME, Ortega C, Solo-Gabriele HM, Miller G, Elmir S, *et al.*, Presence of Pathogens and Indicator Microbes at a Non-Point Source Subtropical Recreational Marine Beach. *Appl. Environ. Microbiol.* 2010. 76 (3): 724–732.
- Abraham WF. Megacities as Sources for Pathogenic Bacteria in Rivers and Their Fate Downstream. *Int. J. Microbiol.* 2011. p. 13.
- Acero A, Franke R. Peces del Parque Nacional Natural Gorgona. p. 123-131. En: Allen, G. & D.R. Roberston. 1992a. Deux nouvelles especes de Girelles (Labridae: *Halichoeres*) du Pacifique Oriental Tropical. *Revue Fr. Aquariol.* 2001. 19: 47-52
- Ackerman D, Weisberg S. Relationship between rainfall and beach bacterial concentrations on Santa Monica Bay beaches. *J. Water and Health.* 2003. 1: 85-89.
- Acosta A, Galindo-Uribe D, Isaacs P. Estudio de línea base de las formaciones coralinas de Yundingua y El Muelle, isla Gorgona, Pacífico colombiano. *Universitas Scientiarum.* 2007. 12: 65–81.
- Allen, G. & D.R. Roberston. 1992a. Deux nouvelles especes de Girelles (Labridae: *Halichoeres*) du Pacifique Oriental Tropical. *Revue Fr. Aquariol.* 19: 47-52
- Allen, G. & D.R. Roberston. 1992b. Three new species of Triplefins (Pisces: Tripterygiidae) from Malpelo and Socorro Islands, in the Tropical Eastern Pacific. *Revue Fr. Aquariol.* 19: 53-56.
- Alongi D. Ecology of tropical soft-bottom benthos: a review with emphasis on emerging concepts. *Rev. Biol. Trop.* 1989. 37 (1): 85-100.
- Álvarez-León R, Polanía J. Manglares, lagunas costeras y estuarios del caribe colombiano. Memorias del taller de expertos sobre el estado de conocimiento y lineamientos para una estrategia nacional de biodiversidad en los ecosistemas marinos y costeros, Minca-Magdalena. CCO/ENB/COLCIENCIAS, Santafé de Bogotá. Colombia. 1994. p. 92-111.
- Álvarez-León R. Mangrove ecosystems of Colombia. In: Lacerda LD. (Ed) Conservation and sustainable utilization of mangrove forest in Latin América and Africa Region. IITO/ISME Proj. PD 114/90 (F) Mangrove Ecosystems Technical Reports. 1993. 2: 75-113.
- Alzate A, S Cuevas, C Benítez, F Zapata y A Giraldo. Nuevos reportes de especies de peces asociados a Arrecifes coralinos en isla Gorgona, Pacífico oriental Tropical. Libro de Resúmenes, XIII Seminario nacional de ciencia y tecnología del mar 2008. Las ciencias y tecnologías marinas al servicio del país. San Andres Isla. 2008. p. 428.
- Amorocho D, Sánchez F, Quiroga D. El encanto de las tortugas marinas en el Parque Nacional Natural Gorgona. En: Barrios L.M. & M. López-Victoria (Eds). *Gorgona marina: Contribución al conocimiento de una isla única.* INVEMAR, Ser. Publ. Esp. No. 7, Santa Marta. 2001. p. 160.
- Ansari TM, Marr LI, Tarid N. Heavy metals in marine pollution perspective – A mini review. *J. Appl. Sci.* 2004. 4 (1): 1-20.
- Arango C. Comunidades de la epifauna (Crustacea-Mollusca) asociadas a fondos blandos en la ensenada de Pozos Colorados, Caribe colombiano. [tesis]. Bogotá DC. Universidad Javeriana. 1996.
- Ardila N, Manrique N, Escobar D, Parra J, Cárdenas M, Sánchez J. Diversidad y abundancia de los octocorales en arrecifes rocosos circundantes a la isla Gorgona. Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá. Colombia. 2008. p. 131-136.

Arias F. Contribución para definir el estado del conocimiento de los sistemas oceánicos colombianos con énfasis en la parte biológica. Memorias del taller de expertos sobre el estado de conocimiento y lineamientos para una estrategia nacional de biodiversidad en los ecosistemas marinos y costeros, Minca-Magdalena. CCO/ENB/COLCIENCIAS, Santafé de Bogotá. Colombia. 1994. p. 261-268.

Arteaga E, Rodríguez-Rubio E, Galeano A. Distribución, abundancia y composición del fitoplancton y condiciones ambientales en la cuenca Pacífica colombiana, durante enero- febrero de 2007. Bol. Cient. Cccp. 2008. (15): 105-122.

Ávila I. Comportamiento en superficie de afiliaciones con cría de la ballena Jorobada (*Megapetra novaengliae*) en Bahía Málaga y alrededores, Pacífico colombiano. Tesis de grado, departamento de Biología, Universidad del Valle. Cali, Colombia. 2000. p. 136.

Baena LM. Evaluación de metales pesados en sedimentos de la bahía de Buenaventura y ríos tributarios. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Dirección técnica ambiental. Informe Técnico. 2010. p. 16.

Báez MC, Bobadilla L, Villaveces MC. Estudio y Evaluación de la Contaminación por Metales Traza en Zonas del Pacífico Colombiano, Fase 1. Ingeominas. Santafé de Bogotá. 1993. p. 19-27.

Barnes RS, Hughes R. An introduction to marine ecology. Blackwell Scientific Publications, London. 1986. p. 339.

Barrantes G. Reproductive activity of birds in a mangrove swamp in Northwest Costa Rica. Rev Biol Trop. 1998. 46 (4): 1163-1166.

Barrios L, López-Victoria M. Formaciones coralinas de la isla Gorgona. En: Acosta A, Galindo-Urbe D, Isaacs P. Estudio de línea base de las formaciones coralinas de Yundingua y El Muelle, isla Gorgona, Pacífico colombiano. Universitas Scientiarum. Edición especial. 2007. 12: 65 – 81.

Barrios LM, López M -Victoria (Eds). Gorgona marina: Contribución al conocimiento de una isla única. INVEMAR, Ser. Publ. Esp. No. 7, Santa Marta. p. 160.

Base de datos del proyecto Redcam, 2011. Disponible en: <http://siam.invemar.org.co/siam/redcam/index.jsp>.

Becerra N, Botello A. Bacterias coliformes totales, fecales y patógenos en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. Hidrobiológica. 1995. 5 (1-2): 84-94.

Beliaeff B, O'connor TP, Munschy C, Raffin B, Claisse D. Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Levels in Mussels and Oysters in France and the United States. Environ. Toxicol. Chem. 2002. 21 (9): 1783-1787.

Beliaeff, B, O'connor TP, Daskalakis DK, Smith PJ. U.S. Mussel Watch data from 1986-1994: Temporal Trend detection at large spatial scales. Environ. Sci. Tech. 1997. 3: 1411-1415.

Beltrán J, Villasol A, Botello AV, Palacios F. Condición actual del ambiente marinocostero de la región del Gran Caribe. En: Botello AV, Rendón-von Osten J, Gold-Bouchot G, Agraz-Hernández C. (Eds). Golfo de México. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2da Ed. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 2005. p. 1 - 24.

Bence A, Burns W. Fingerprinting hydrocarbons in biological resources of the Exxon Valdez spill area. In: Wells, PG, Butler, JN, Hughes JS. (Eds). 1995.

Berg H, Kiiibu M, Kautsky N. DDT and other insecticides in the lake Kariba ecosystem, Zimbabwe. Ambio 1989. 21 (7): 444-450.

- Betancourt PJ, Casanova RF, Gallo AV. Tesis de Grado “Formulación de un programa de educación ambiental no formal para el manejo de residuos sólidos en el sector turístico de El Morro, municipio de Tumaco, departamento de Nariño”. Universidad El Bosque. Santa Fe de Bogotá. 2000. p. 90.
- Binelli A, Provini A. POPs in edible clams from different Italian and European markets and possible human health risk. *Mar. Pollut. Bull.* 2003. 46: 879 – 886.
- Birkeland C, Meyer DL, Stames JP, Buford CL. Subtidal communities of Malpelo Island. En: Graham JB. (Ed). *The biological investigations of Malpelo Island, Colombia. Smithsonian Contributions to Zoology.* 1975. 176: 55-68.
- Blake JA, Hilbig B, Valentich Scott P. Taxonomic Atlas of the benthic fauna of the Santa Maria Basin and The Western Santa Barbara Channel. Volume 14. Miscellaneous taxa. Santa Barbara, California. 2000.
- Blanco JA. Reconocimiento piloto de fondos, ambiente, fauna asociada y recursos en aguas costeras del departamento del Magdalena. Informe final, Proy. Invermar. Santa Marta. Colombia. 1993.
- Bordalo A, Onrassami R, Dechsakulwatana C. Survival of faecal indicator bacteria in tropical estuarine water (Bangpakong River, Thailand). *J. Appl. Microbiol.* 2002. 93: 864-871.
- Brattström H. Rocky shore zonation in the Santa Marta area, Colombia. *Sarsia.* 1980. 65: 163-226.
- Buchman MF. Reference Tables (SQuiRTs). NOAA OR&R report 08-1 Seattle WA, office of response and restoration division, national oceanic and atmospheric administration. 2008. p. 34.
- Cabrera E, Reyna J. Evaluación del impacto por derrames de hidrocarburos en la ensenada de Tumaco. Comprobación de la efectividad de los planes de contingencia. *Bol. Cient. Cccp.* 1997. 06: 139-145.
- Cadena A. Notas sobre la fauna de murciélagos de Gorgona. En: Aguirre, J. & O. Rangel (Eds). *Biota y Ecosistemas de Gorgona. Fondo para la Protección del Medio Ambiente FEN.* Bogotá. 1990. p. 303.
- Calero LA, Casanova RF. 1997. Evaluación de algunos parámetros físico-químicos y sustancias contaminantes en el Pacífico colombiano. Tumaco. *Bol. Cient. Cccp.* 6: 29-44.
- Campos NH, Gallo M. Contenidos de Cd, Cu y Zn en *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* de la Ciénaga Grande de Santa Marta y la bahía de Chengue, costa Caribe colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.,* 1997. 21 (79): 73-90.
- Cantera J, B Thomassin, P Arnaud. 1999. Faunal zonation and assemblages in the Pacific Colombian mangroves. *Hydrobiology.* 413: 17-33.
- Cantera JR, Arnaud PM, Homassin B. Biogeographie and Ecological remarks un Molluscan Distribution in Mangrove Biotopes. En: Leyva P. (Ed), *Colombia Pacífico, Tomo I. Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”, FEN,* Bogotá. Colombia. 1993.
- Cantera JR, Contreras R. Ecosistemas costeros. Cap. 5. En: Leyva P. (Ed), *Colombia Pacífico, Tomo I. Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”, FEN.* Bogotá. Colombia. 1993.
- Capitanía de Puerto de Tumaco CP2. Censo de 2009 y las restituciones 2011. San Andrés de Tumaco.
- Carpenter E, D Capone. Nitrogen in the Marine Environment, Academic Press Inc., New York, 1983. 1983. p. 2 – 22.
- Carrol ML, Cochrane S, Fieler R, Velvin R, White P. Organic enrichment of sediments from salmon farming in Norway: environmental factors, management practices, and monitoring techniques. *Aquaculture.* 2003. 226: 165-180.

Casanova RF. Estudio de la contaminación por compuestos organoclorados en la costa Pacífica colombiana. Tumaco. Bol. Cient. Cccp. 1996. 5: 141-159.

Casanova RF. Proyecto Final de Máster en Gestión y Auditorías Ambientales en Ingeniería y Tecnología Ambiental “Evaluación de la Calidad Físico-Química de las Aguas y de los Niveles de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en Sedimentos de las bahías de Tumaco y Buenaventura”, 26 de julio de 2010, San Andrés de Tumaco – Nariño. Colombia. p. 13-14.

Castaño-Uribe C. Colombia universo submarino. Banco de Occidente. I/M Editores. Cali. Colombia. 2000. p. 205.

Castaño-Uribe C. Golfos y bahías de Colombia. Banco de Occidente. Cali. Colombia. 2002. p. 191.

Castaño-Uribe C. Introducción. En: Prahl H von. 1989. Manglares de Colombia. Banco de Occidente. Cali. Colombia. 1989. p. 203.

Castillo F, Vidal A. Fitoplancton del Pacífico colombiano como indicadores de masas de agua. Fase I. Informe Técnico. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico CIOH. Cartagena. Colombia. 1982. p. 52.

Castillo F, Vizcaíno Z. Observación del fitoplancton del Pacífico colombiano durante 1991-1992 en condiciones el Niño. Bull Inst. Fr. Études andines. 1993. 22 (1): 179-190.

Castillo FA, Vizcaíno Z. Observación del fitoplancton del Pacífico durante 1991-1992 en condiciones El Niño. En: Espinosa LF. (Ed). Informe nacional sobre el Estado del Ambiente Marino en los Países del Pacífico Sudeste. Caso Colombia. Invemar. CPPS. Santa Marta. Colombia 2010. p. 146.

Cámara de Comercio de Buenaventura Ccbun. Buenaventura Bello Puerto del Mar. 2009. Disponible en URL: <http://ccbun.org/index.php?tipo=seccion&seleccion=70>. Consultado el 07 de agosto de 2011.

CCME. Canadian environmental quality guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. In: Garrett, C. 2004. Priority Substances of Interest in the Georgia Basin Profiles and background information on current toxics issues. Report of the Canadian Toxics Work Group. GBAP Publication No. EC/GB/04/79 (Canadá). 1999.

Cely GG. Temas de Bioética Ambiental, Centro Editorial Javeriana. 1995. p. 57-60.

Centro Control Contaminación del Pacífico Cccp. Determinación de la demanda de oxígeno en sedimentos de tres estaciones de la bahía de Tumaco. Informe Técnico. San Andrés de Tumaco. 2009. p. 10.

Centro Control Contaminación del Pacífico Cccp. Informe Ejecutivo, Hidrodinámica en la bahía de Buenaventura como agente en los procesos de transporte y arrastre de hidrocarburos y determinación del mapa de sensibilidad como una herramienta auxiliar para el monitoreo ambiental. Área de Oceanografía Operacional -Cccp en conjunto con el Área de Manejo Integrado de Zona la Costera. 2009a.

Centro Control Contaminación del Pacífico Cccp. Informe técnico e inspecciones por contingencia Daedalus, San Andrés de Tumaco, febrero-marzo de 1996.

Centro Control Contaminación del Pacífico Cccp. Informe Técnico. Evaluación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en matrices ambientales y sus efectos tóxicos sobre moluscos bivalvos de interés comercial. San Andrés de Tumaco. 2006. p. 100.

Centro Control Contaminación del Pacífico Cccp. Informe Técnico. Estudio de la calidad del agua y de la contaminación por Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en la costa Pacífica colombiana. San Andrés de Tumaco. 2008. p. 97.

Centro Control Contaminación del Pacífico Cccp. Seguimiento de la Variabilidad Durante 24 Horas de Parámetros

Físico-químicos en dos Estaciones de la bahía de Tumaco. Informe Técnico. San Andrés de Tumaco. 2008a. p. 26.

Chasqui L, Zapata F. Tamaño y composición de dos formaciones coralinas del santuario de fauna y flora Malpelo, Pacífico colombiano. En: Espinosa LF. (Ed) Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente Marino en los Países del Pacífico Sudeste. Caso Colombia. INVEMAR, CPPS. Santa Marta. 2010. 146 p. En: Colombia Informe del Estado de Los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros En Colombia. 2009. Serie De Publicaciones Periódicas, Invemar ISSN: 1692-5025 Ed: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras Invemar. V.8 fasc.N/A. 2007. p. 96 – 101.

Chester R. Marine geochemistry. Chapman & Hall, London. 1993. p. 683.

Chiroles S. Determinación de bacterias de interés sanitario en el ecosistema del río Almendares. Tesis para optar el título Académico en Microbiología. Mención: Ecología Microbiana. Universidad de La Habana, Facultad de Biología. 2009. p. 1-71.

Choat JH, Bellwood DR. Reef Fishes: their history and evolution. In: Sale, P.F. (Ed). The ecology of fishes on coral reefs. Academic Press. San Diego, USA. 1991. p. 39-60.

Cifuentes Ramírez J. Memoria cultural del Pacífico. Facultad de Humanidades. Universidad del Valle, Santiago de Cali. Colombia. 2002.

Centro de Investigación e Innovación en Energía Ciién. 2011. Identificación del Potencial Energético del Mar en Colombia y Análisis de las Tecnologías de Medición y de Aprovechamiento para la Generación de Energía Eléctrica a Nivel Comercial. Potencial de Gradientes Salinos Informe_Final_Grad_Salino_v. Universidad Nacional. Medellín. 76p. Disponible en: ftp://ftp.cicese.mx/pub/divOC/ocefisica/ocampo/ciien/infFinal20110823/Gradiente%20Salino/Informe_Final_Gradiente_Salino.pdf

Clark RB. Marine Pollution. Clarendon. Oxford University Press. New York. En: Ciencias marinas. 1986. 21 (4): 422.

Comisión Colombiana del Océano CCO. Contaminación Marina Proveniente de Fuentes Terrestres. Colombia, 2011. Disponible en: (<http://www.cco.gov.co/anterior/contmar3.htm>)

Comisión Permanente del Pacífico Sur CPPS. Red Regional de Áreas Costeras y Marinas Protegidas del Pacífico Sudeste. Comisión Permanente del Pacífico Sur. Guayaquil, Ecuador. 2009. p. 24.

Consejo Nacional del Medio Ambiente Conama. Resolución Conama N° 20, de 18 de junio de 1986. Brasil. p. 18.

Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia Departamento Nacional de Planeación - Conpes 3410. 2006. Política de Estado para Mejorar las Condiciones de Vida de la Población de Buenaventura, Bogotá, D.C., 20 de febrero de 2006. En: (<http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/Portals/0/archivos/documentos/Subdireccion/Conpes/3410.pdf>; consultada el 12 sep-2011: 18 h 13)

CORDEAGROPAZ. Acuerdo de Competitividad de la Cadena de Cacao – Chocolate del Sur Occidente (Nariño, Cauca y Valle). Consejo Regional Cacaotero, Tumaco. Agosto 2006. p. 77.

Corpes. El Caribe colombiano, realidad ambiental y desarrollo. Corpes Costa Atlántica, Santa Marta. Colombia. 1992. p. 275.

Delgado P, Hensel PF, Jiménez JA, Day JW. The importance of propagule establishment and physical factors in a mangrove distributional patterns in a Costa Rican estuary. Aquatic Botany. 2001. 71: 157-178.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Proyecciones de Población 1995 – 2005. 2005. Documento en línea, disponible en: www.dane.gov.co.

Departamento Nacional de Planeación DNP. Aprovechar el Territorio Marino-Costero en Forma Eficiente y Sostenible.

2007. Disponible en: URL. www.dnp.gov.co/PortalWeb/Portals/FOROTerritorioMaritimo.pdf - Similares. Consultado el 29 de junio de 2011.

Departamento Nacional de Planeación DNP. Visión Colombia II Centenario: 2019, Aprovechar el territorio marino-costero en forma eficiente y sostenible. Propuesta para Discusión. Bogotá D.C. Colombia. 2007.

Dexter D. Sandy-beach fauna of the Pacific and Atlantic coasts of Costa Rica and Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 1974. 2 (1): 51-66.

Díaz JM, Gast F. El Chocó Biogeográfico de Colombia. Banco de Occidente. Cali, Colombia. 2009. p. 208.

Díaz JM, Pinzón J, Perdomo A, Barrios LM, López Victoria M. Generalidades. 2001. p 17-26. En: Barrios LM, López Victoria M (Eds). Gorgona marina: Contribución al conocimiento de una isla única. Invemar, Ser. Publ. Esp. No. 7, Santa Marta. Colombia. p. 160.

Díaz JM, Pinzón JH, Perdomo AM, Barrios LM, López-Victoria M. Generalidades. En: Acosta A, Galindo-Uribe D, Isaacs P. Estudio de línea base de las formaciones coralinas de Yundingua y El Muelle, isla Gorgona, Pacífico colombiano. *Universitas Scientiarum. Edición especial.* 2007. 12: 65–81.

Díaz-Pulido G. Informe Nacional sobre el estado de la Biodiversidad en Colombia. Ecosistemas Marinos y Costeros. Santa Marta. Colombia. 1997. p. 143.

Dittel AI, Epifanio CE, Cifuentes LA, Kirchman DL. Carbon and nitrogen sources for shrimp postlarvae fed natural diets from a tropical mangrove system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 1997. 45: 629-637.

Dittel AI, Epifanio CE. Seasonal and tidal abundance of crab larvae in a tropical mangrove system, Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1990. 65 (1): 25-34.

Douglas G, Bence A, Prince R, Mcmillen S, Butler E. Environmental stability of selected petroleum hydrocarbon source and weathering ratios. *Environ. Sci. Technol.* 1996. 30: 2332–2339.

Drake LA, Jenkins PT, Dobbs C. Domestic and international arrivals of NOBOB (no ballast on board) vessels to lower Chesapeake Bay. *Mar. Pollut. Bull.* 2005. 50: 560

Dufour A, Evans O, Behymer TD, Cantú CR. Water ingestion during swimming activities in a pool: A pilot study. *J. Water and Health.* 2006. 4: 425-430.

Duke NC, Watkinson AJ. Chlorophyll-deficient propagules of *Avicennia marina* and apparent longer term deterioration of mangrove fitness in oil polluted sediments. 2002. *Mar. Poll. Bull.* 44. 1269-1276.

Eduok SI, Ebong GA, Udoinyang EP, Njoku JN, Eyen EA. Bacteriological and polycyclic aromatic hydrocarbon accumulation in mangrove oyster (*Crassostrea tulipa*) from Douglas Creek, Nigeria. *Pakistan J. Nutr.* 2010. 9 (1): 35–42.

Elmir S, Wright M, Abdelzaher A, Solo-Gabriele H, Fleming L, Miller G, *et al.*, 2007. Quantitative evaluation of bacteria released by bathers in a marine water. *Water Res.* 2007. 41: 3–10.

EPA. Developing and Implementing an Estuarine Water Quality Monitoring, Assessment, and Outreach Program The MYSound Project, EPA/625/R-02/010 November 2002.

Escarria E, Beltrán-León BS, Giraldo A. Ictioplancton superficial de la cuenca del Océano Pacífico colombiano (septiembre 2003). *Invest. Mar. Valparaíso.* 2006. 34 (2): 169-173.

Escobar, J. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. División de los recursos naturales

e infraestructura. Cepal, Santiago de Chile. 2002. p. 68.

Eslava J. "Climatología" En: Leyva P. (Ed), Colombia Pacífico, Tomo I. Fondo para la Protección del Medio Ambiente "José Celestino Mutis", FEN, Bogotá. Colombia. 1993. p. 137-147.

Espinosa A, Arias CF, Sánchez-Colón S, Mazari-Hiriart M. Comparative study of enteric viruses, coliphages and indicator bacteria for evaluating water quality in a tropical high-altitude system. *Environ Health*. 2009. 8:49 doi:10.1186/1476-069X-8-49.

Espinosa LF (Ed). Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente Marino en los Países del Pacífico Sudeste. Caso Colombia. Invemar, CPPS. Santa Marta. 2010. p. 147.

Espinosa LF, Betancourt JM. Monitoreo del escurrimiento de plaguicidas a la zona costera del Caribe colombiano. Informe final del Proyecto REPCar. 2011. p. 54.

Fernández B, Brunker T. Estudio bacteriológico de bivalvos del Golfo de Nicoya, Costa Rica (I Parte). *Rev. Biol. Trop.* 1977. 25: 101-107.

Fernández L, Freire J. Relaciones entre la salud de los ecosistemas marinos y la seguridad alimentaria: La marea negra del Prestige como un caso de estudio. 2003. En Ferreras J, Freire J. (Eds). Seguridad Alimentaria (I): Pesca, Acuicultura y Marisqueo. Biblioteca Monográfica de la Fundación Instituto de Estudios Políticos y Sociales. A Coruña, España. 2005. p. 91-128.

Fertuck KC, Kumar S, Sikka HC, Matthews JB, Zacharewski TR. Interaction of PAH-related compounds with the α and β isoforms of the estrogen receptor. *Toxicology Letters*. 2001. 121.(3): 167-177.

Figeras MJ, Borrego JJ, Pike EB, Robertson W, Ashbolt N. Sanitary Inspection and Microbiological water Quality. En: World Health Organization. Monitoring Bathings Waters: A practical guide to the design and implementation of assessments and monitoring programmes. 2000. p. 114-167.

Fleisher J, Kay D, Salmon R, Jones F, Wyer M, Godfree A. Marine waters contaminated with domestic sewage: nonenteric illnesses associated with bather exposure in the United Kingdom. *Am. J. Public Health*. 1996. 86 (9): 1228-1234.

Flórez-González L, Capella J. Mamíferos marinos locales y regionales. p. 133 - 140. En: Barrios L.M. & M. López-Victoria (Eds). Gorgona marina: Contribución al conocimiento de una isla única. Invemar, Ser. Publ. Esp. No. 7. Santa Marta. Colombia. 2001. p. 60.

Forsbergh ED. Estudio sobre la climatología, oceanografía y pesquería del Panamá bight. *Bol. inter-amer. trop. Tuna Comm.* 1969. 14 (2): 260-285. Disponible en: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/faunayflora/pacific1/cap1b.htm>

Franco L. Programa de áreas marinas y costeras protegidas del Caribe y Pacífico colombiano -bases para su desarrollo. Patrimonio Natural. Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas. En: Espinosa LF (Ed). Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente Marino en los Países del Pacífico Sudeste. Caso Colombia. Invemar. CPPS. Santa Marta. Colombia. 2010. p. 146.

Garay-Tinoco JA, Gómez-López DI, Ortiz-Galvis JR. (Eds). Diagnóstico integral del impacto biofísico y socioeconómico relativo a las fuentes de contaminación terrestre en la bahía de Tumaco, Colombia y lineamientos básicos para un Plan de Manejo. Proyecto del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Pnuma - Programa de Acción Mundial PAM) y Comisión Permanente del Pacífico Sur, CPPS". Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), Centro Control Contaminación del Pacífico (Cccp), Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño). Santa Marta. Colombia. 2006. p. 290.

- Garay J, Marín B, Vélez A, Vives J, Troncoso W, Espinosa L, Restrepo J, Gómez M, Perdomo L, Newmark F, Guzmán A, Gómez D, Ramírez G. 2004. Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar (PNICM). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andréis (Invemar). Santa Marta. Colombia. p. 110.
- García Hansen I. Efecto de los eventos El Niño y La Niña sobre la comunidad de fitoplancton al interior de la ensenada de Tumaco. 1997 – 2000. Bol. Cient. Cccp. 2001. (8): 15-21.
- García Hansen I, Málikov I. Comportamiento de diatomeas y dinoflagelados en la bahía de Tumaco bajo la influencia de cambios climáticos durante el período 1995-2000. Bol. Cient. Cccp. 2003. (9): 22-33.
- García I, Cortés R, Sierra A. La marea roja causada por el dinoflagelado *Alexandrium tamarense* en la costa Pacífica colombiana (2001). Rev. Biol. Trop. 2004. 52 (1): 59-68.
- Garrett C. Pacific and Yukon Region Report of the Canadian Toxics Work Group Priority Substances of Interest in the Georgia Basin Profiles and background information on current toxics issues. Technical Supporting Document of the Canadian Toxics Work Group Puget Sound/Georgia Basin International Task Force GBAP Publication No.EC/GB/04/79. Environment Canada Environmental Protection Branch. 2004.
- Garzón-Ferreira J, Pinzón JH. Evaluación rápida de estructura y salud de las formaciones coralinas de la isla de Malpelo, Pacífico colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost. 1999. 28: 137-154
- Garzón-Ferreira J, Rodríguez-Ramírez A. Simac: Development and implementation of coral reef monitoring network in Colombia. Rev. Biol. Trop. 2010. 58 (1): 67 – 80.
- Gentry AH. “Riqueza de especies y composición florística” En: Leyva P. (Ed), Colombia Pacífico, Tomo I. Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”. FEN. Bogotá. Colombia. 1993. p. 200-219.
- Gesamp (IMO/FAO/Unesco/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). Global strategies for marine environmental protection. Rep.Stud.GESAMP. 1991.
- Glynn P, Prahl H von, Guhl F. Coral reefs of Gorgona island, with special references to corallivores and their influence on community structure and reef development. Aun. Ins. Inv. Mar. Punta Betín. 1982. 12: 185-214.
- Godínez-Ortega JL. Algas. En: De la Lanza EG, Hernández PS, Carbajal PJL. (Eds). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). Plaza y Valdés, México. 2000. p. 633.
- Gollasch S. German ballast water sampling manual. En: 1st International Workshop on Guidelines and Standards for Ballast Water Sampling. Rio de Janeiro, Brazil: Workshop Report. GloBallast Monography. 2003. Series No. 9: 38-45.
- Gutiérrez E. Estructura de la comunidad zooplanctónica del Océano Pacífico colombiano y su relación con variables físicas, químicas y biológicas. Tesis de Grado. Departamento de Biología. Universidad del Valle. Cali. Colombia. 2004. p. 59.
- Guzmán-Alvis A, Díaz JM. Distribución espacial de la taxocenosis Anellida-Mollusca en la plataforma continental del golfo de Salamanca, Caribe colombiano. An. Inst. Invest. Mar. Punta de Betín. 1993. 22: 45-49.
- Haider H, Ali W. Fecal Coliform Management Using a Coupled Hydrodynamics and Water Quality Model for the River Ravi in Pakistan. Pak. J. Eng. Appl. Sci. 2011. 9: 48-57.
- Hallegraeff GM, Anderson DM, Cembella AD. Manual on harmful marine microalgae. 2003. En: Espinosa LF (Ed). Informe nacional sobre el Estado del Ambiente Marino en los Países del Pacífico Sudeste. Caso Colombia. Invemar. CPPS. Santa Marta. Colombia. 2010. p. 147.

Hamilton LS, Snedaker SC. (Eds). Handbook for mangrove area management. UN Environment Programme/East-West Centre Environment and Policy Institute. Unesco. Paris, Francia. 1984. p. 123.

Heintz RA, Rice SD, Wertheimer AC, Bradshaw RF, Thrower FP, Joyce JE, *et al.*, Delayed effects on growth and marine survival of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, after exposure to crude oil during embryonic development. 2000. In: Karacik B, Okay OS, Henkelmann B, Bernhöft S, Schramm KW. Polycyclic aromatic hydrocarbons and effects on marine organisms in the Istanbul Strait. Environ. Int. 2009. 35: 599 – 606.

Herbas R, Rivero F, González A. Indicadores biológicos de la calidad del agua. Tesis de maestría en Ingeniería ambiental. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba. Bolivia. 2006. p. 1-21.

Hernández B, Puga P. Influencia del fenómeno El Niño en la región occidental de Cuba y su impacto en la pesquería de langosta (*Panulirus argus*) del golfo de Batabanó. 1995. En: Espinosa, L.F. (Ed). Informe nacional sobre el Estado del Ambiente Marino en los Países del Pacífico Sudeste. Caso Colombia. Invemar. CPPS. Santa Marta. Colombia. 2010. p. 146.

Herrera A, Suárez P. Indicadores bacterianos como herramientas para medir la calidad ambiental del agua costera. Interciencia. 2005. 30 (3): 171-176.

Hewitt, C.L. & M.L. Champbell.. Mechanims for the prevention of marine bioinvasions for better biosecurity. Mar Pollut Bull. 2007. 55: 395–401.

Hidritec, Tecnología y Gestión de Recursos Hídricos, “Aguas de Lastre II”. Infor@hidritec.com. 2007. Disponible en: <http://www.hidritec.com/hidritec/aguas-de-lastre>.

Hill D, Owens WE, Tchounwou PB. The Impact of Rainfall on Fecal Coliform Bacteria in Bayou Dorcheat (North Louisiana). Int. J. Environ. Res. Public Health. 2006. 3 (1): 114-117.

Hose G, Gordon G, McCullough FE, Pulver N, Murray BR. Spatial and rainfall related patterns of bacterial contamination in Sydney Harbour estuary. J. Water and Health. 2005. 3: 349-358.

IARC. Overall evaluations of carcinogenicity –an updating of IARC monographs volumes 1 to 42. International Agency for Research on Cancer, Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Suppl. 7. IARC, Lyon. Francia. 1987.

Invemar, Univalle e Inciva. Biomálaga: Valoración de la biodiversidad marina y costera de Bahía Málaga (Valle del Cauca), como uno de los instrumentos necesarios para que sea considerada un área protegida. Informe Científico Final. Invemar-Univalle-Inciva, Santiago de Cali. Colombia. 2006. p. 813.

Invemar. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombianos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia–Redcam. Santa Marta. Colombia. 2005. p. 304.

Invemar. Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia – SIAM. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – Redcam. 2011. Disponible en: <http://www.invemar.org.co/siam/>

Jiménez JA. Los Manglares del Pacífico Centroamericano. EFUNA. Heredia. Costa Rica. 1994. p. 352.

Jiménez R, Pesantes F. Fitoplancton, producción primaria y pigmentos en aguas costeras ecuatorianas. Publs. Ins. Ocean. de la Armada. Inocar. 1978. 2 (1): 30.

Karacik B, Okay OS, Henkelmann B, Bernhöft S, Schramm KW. Polycyclic aromatic hydrocarbons and effects on

marine organisms in the Istanbul Strait. *Environ Int.* 2009. 35: 599–606.

Karydis M, Ignatiades L, Moschopoulou N. An index associated with nutrient eutrophication in the Marine Environment. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* (16): 339-344.

Kiely, G. *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión.* Mc. Graw Hill. España. 1999. p. 1331.

Lankford R. Coastal lagoons of Mexico: their origin and classification. En: Wiley ML. (Ed). *Estuarine processes.* Academic Press Inc., New York. 1977. 2: 182-215.

Lasso J, Cantera J. La caída de hojarasca como indicador de productividad: comparación entre un bosque ribertino y uno de barra en la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. En: Restrepo JD, Cantera JR. (Eds) *Delta de San Juan, bahías de Málaga y Buenaventura, Pacífico colombiano.* Tomo I. Colciencias - Universidad Eafit - Universidad del Valle. 1995. p. 337.

Latorre, E. E. 1998. Medio ambiente y municipio en Colombia. CEREC. Serie Ecología No. 7. p. 245.

Laustein GG . Comparison of organic contaminants founding mussels and oysters from a current Mussel Watch Project with those from archived mollusk samples of the 1970s. *Mar. Pollut. Bull.* 1995. 30: 826-833.

Lefevre G, Poulin B. Seasonal abundance of migrant birds and food resources in Panamanian mangrove forests. *Wilson Bull.* 1996. 108 (4): 748-759.

Lewis J. The fauna of rocky shores of Barbados, West Indies. 1960. En: Brattsröm H. *Rocky shore zonation in the Santa Marta area, Colombia.* Sarsia. 1980. (65): 163-226.

Leyva P. Colombia Pacífico, Tomo I. Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”, FEN, Bogotá. Colombia. 1993.

Li Q, Wu Z, Chu B, Zhang N, Cai S, Fang J. Heavy metals in coastal wetland sediments of the Pearl River Estuary, China. *Environmental Pollution.* 2007. 149: 158-164.

Little C, Kitching A. *The biology of rocky shores.* Oxford University Press. Oxford. 1996. p. 240.

López M, Cantera J, Díaz JM, Rozo D, Posada B. Estado de los litorales rocosos en Colombia: acantilados y playas rocosas. En: Invemar (Ed). *Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia: Año 2006.* Serie de Publicaciones Periódicas No. 8. Santa Marta. Colombia. 2006. p. 157-167.

López MI, Arias C. Distribución del ictioplancton en el Estuario de Pochote, bahía Ballena, Pacífico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 1987. 35 (1): 121-126.

López-Victoria M, Cantera J R, Díaz J M, Rozo D M, Posada BO, Osorno A. Estado de los litorales rocosos en Colombia: acantilados y playas rocosas: En: Invemar (Ed). *Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: año 2003.* Serie de Publicaciones Periódicas No. 8. Santa Marta. Colombia. 2004. p. 171-182.

Lorin J, Hernández C, Rovault A, Bottagisio J. Estudio sedimentológico de la plataforma continental entre Bocas de Ceniza y Santa Marta. *Laboratoire Central D’Hydraulique de France.* Barranquilla. Colombia. 1973. p. 42.

Lucero RC, Cantera JR, Romero IC. Variability of macrobenthic assemblages under abnormal climatic conditions in a small scale tropical estuary. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 2006. 68: 17-26.

Majluf P. *Los Ecosistemas Marinos y Costeros. Proyecto Estrategia Regional de Biodiversidad para los Países del Trópico Andino.* CAN. 2002.

- Maldonado J. Observaciones realizadas sobre el fenómeno de marea roja presentado en aguas del Pacífico colombiano, los meses de julio a septiembre de 1976. 1978. En: Espinosa LF. (Ed). Informe nacional sobre el Estado del Ambiente Marino en los Países del Pacífico Sudeste. Caso Colombia. Invemar. CPPS. Santa Marta. Colombia. 2010. p. 146.
- Mallmann D, Asmus ML. Implementación de un modelo de evaluación de riesgo del agua de lastre en el puerto de Río Grande. Brasil. Invest. Mar. 2006. 34 (2): 205-210.
- Margalef R. Limnología. Ediciones Omega. S.A. Barcelona. España. 1983. p. 1010.
- Marín B. Informe Técnico Final Proyecto: “Establecimiento de valores indicativos del grado de contaminación de tóxicos químicos y microorganismos de origen fecal, como base para la expedición de normativas de la calidad de las aguas marinas de Colombia”. Invemar /Colciencias. Santa Marta. Colombia. 2001.
- Márquez G. Ecosistemas estratégicos y otros estudios de ecología ambiental. Fondo FEN Colombia. Santafe de Bogotá. Colombia. 1996. p. 211.
- Márquez GE. Ecosistemas marinos. En: Jimeno MC. (Ed). Caribe Colombia. Fondo para la protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”. FEN. Bogotá. Colombia. 1990. p. 115-133.
- Martín-Díaz ML, Blasco J, Sales D, DelValls TA. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2007. 53 (1): 66–76.
- Martínez JO, González JL. Evolución histórica de las islas barrera del sector de Buenaventura y El Maya. Invemar, Serie de Publicaciones Especiales. 1997. 3: 1-72.
- Martínez JO. 1993. Geomorfología. En: Leyva P. (Ed) Colombia Pacífico, Tomo I. Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”. FEN. Bogotá. Colombia. 1993. p. 110-119.
- Martínez O. Geomorfología de la costa del Pacífico colombiano y aspectos relativos a su estabilidad. Memorias ENSO records international symposium. Lima. Perú. 1992. p. 193-196.
- Martínez Aguilar T, Giraldo A, Rodríguez-Rubio E. Ictioplancton en la zona costera del Pacífico colombiano durante la fase terminal de El Niño 2006-2007. Lat. Am. J. Aquat. Res. 2010. 38 (1): 151-166.
- Martínez T, Giraldo A, Rodríguez-Rubio E. Zooplancton en la Corriente Colombia, Pacífico colombiano durante marzo de 2006. Bol. Cient. Cccp. 2007. 14: 69–82.
- Martínez-Aguilar TI, Giraldo A, Rodríguez-Rubio E. Ictioplancton en la zona costera del Pacífico colombiano durante la fase terminal de El Niño 2006-2007. Lat. Am. J. Aquat. Res. 2010. 38 (1): 151-166.
- Mauna JE. Distribución de tunicados planctónicos y quetognatos en el Pacífico colombiano: relación con el fenómeno El Niño 1991-1992. Tesis de Grado. Departamento de Biología. Universidad del Valle. Cali. Colombia. 1994. p. 59.
- Meadows PS, Cambell JI. Introducción a la ciencia del mar. Ed. Acribia. Zaragoza. España. 1978. p. 53- 56.
- Medina L. Comportamiento del fitoplancton en el área del Pacífico colombiano, años 1995-1997. Bol. Cient. Cccp. 1997. 6: 95–108.
- Medina Campos L. Cambios en la composición y abundancia de la comunidad microalgal del Pacífico colombiano, en relación con el evento “El Niño” 97 - 98. Bol. Cient. CCCP. 1998. (7): 58-66.
- Mee J, Readman W, Villeneuve JP, Goldbergs ED. Trace organic contamination in the Americas: An Overview of the US National Status & Trends and the International “Mussel Watch” Programmes. Mar. Pollut. Bull. 1995. 31 (4-12): 214-225.

- Metcalf & Eddy, Inc. Ingeniería de aguas residuales. Mc Graw Hill. 3ª Edición. Madrid. España. 1995.
- Ministerio de Salud Minsalud. Decreto 1594: Disposiciones sanitarias sobre el agua. Ministerio de Salud. República de Colombia. 1984. p. 139.
- Ministerio del Medio Ambiente MMA. Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia. Dirección General de Ecosistemas. Bogotá. Colombia. 2000a. p. 85.
- Ministerio de Salud Minsalud. 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. p. 61.
- Mitch A, Gasner KC, Mitch WA. Fecal coliform accumulation within a river subject to seasonally-disinfected wastewater discharges. *Water Res.* 2010. 44: 4776–4782.
- Murcia M, Giraldo A. Condiciones oceanográficas y composición del mesozooplankton en la zona oceánica del Pacífico colombiano, durante septiembre-octubre 2004. *Bol. Cient. Cccp.* 2007. 14: 83-94.
- Naranjo-Sánchez YA, Troncoso-Olivo W. Contenidos de cadmio, cobre, zinc y plomo en Órganos de *Rhizophora mangle* de la ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 2008. 37 (2): 107-129.
- NOAA Technical Report Nesdis 79. Quality control and processing of historical oceanographic nutrient data. Washington, D.C. 1994.
- Noble R, Weisberg S, Leecaster M, Mgee C, Dorsey J, Vainik P, Orozco-Borbón V. Storm effects on regional beach water quality along the southern California shoreline. *J. Water and Health.* 2003. 1 (1): 23–31.
- Obiri-Danso KC, Weobong AA, Jones K. Aspects of health-related microbiology of the Subin, an urban river in Kumasi, Ghana. *J. Water and Health.* 2005. 3 (1): 69-76.
- Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito Unodc. Colombia Monitoreo de Cultivos de Coca. Bogotá. Colombia. 2010.
- Okay OS, Tolun L, Telli-Karakoçi F, Tüfekçi V, Tüfekçi H, Olgun A, *et al.*, The changes of T-PAH levels and health status of mussels in Izmit bay (Turkey) after marmara earthquake and subsequent refinery fire. *Environ. Int.* 2003. 28: 671-675.
- Okay OS, Tolun L, Tüfekçi V, Telli-Karakoç F, Donkin P. Effects of pyrene on mussels in different experimental conditions. *Environ. Int.* 2006. 32: 538–544.
- Olguín EJ, Hernández ME, Sánchez-Galván G. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 2007. 23 (3) 139-154.
- Organización Marítima Internacional OMI. Resolución A. 868(20). Directrices para el control y la gestión del agua de lastre de los buques a fin de reducir al mínimo la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos. Londres. 1998. p. 18.
- Organización Marítima Internacional OMI. 2006. Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques, MARPOL 73/78. Edición refundida de 2006. Londres.
- Organización Mundial de la Salud OMS. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: Coastal and fresh waters. Ginebra: OMS. 2003.

Organización Panamericana de la Salud OPS. El Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina. Serie Ambiental No.15. Washington D.C. 1995.

Orjuela A, Villamil C, Perdomo L, López A, Sierra P. Estado de conocimiento de los manglares. En: Invemar (Ed). Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia: Año 2008. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8. Santa Marta. Colombia. 2009. p. 89-108.

Orjuela Rojas A, Ricardo Hernández R, Malagón A, Perdomo Trujillo L. Eventos episódicos principales. En: Espinosa LF. (Ed). Informe nacional sobre el Estado del Ambiente Marino en los Países del Pacífico Sudeste. Caso Colombia. Invemar. CPPS. Santa Marta. Colombia. 2010. p. 146.

Ortiz von Halle B. Aspectos generales de la comunidad de aves. En: Aguirre, J. & O. Rangel (Eds). Biota y Ecosistemas de Gorgona. Fondo para la Protección del Medio Ambiente FEN, Bogotá. Colombia. 1990. p. 215–235.

Ospina AR. Evaluación de la contaminación por metales pesados (mercurio, plomo y cobre) en aguas de la bahía de Buenaventura, para la identificación de macroalgas bénticas como organismos bioindicadores. [Tesis]. Universidad del Valle. Cali. Colombia. 2002.

Ospina-Álvarez N, Peña EJ, Benítez R. Efecto de la salinidad en la capacidad de bioacumulación de plomo en el alga verde *Rhizoclonium riparium* (Roth) Harvey (Chlorophyceae, Cladophorales). Actual. Biol. 2006. 28 (84): 17–25.

Otero AE, Mosquera AL, Castro SG, Guzmán VJC. Deltas y estuarios de Colombia. 2007. En: <http://www.imeditores.com/banocc/deltas/cap7.htm>; consultado el 13 de septiembre de 2011 a las 10 h 00.

Otero LJ. Determinación del régimen medio y extremal del nivel del mar para la bahía de Buenaventura. Bol. Cient. Cccp. 2004. 11: 30-41.

Páez MI, Granada A. Evaluación cualitativa de la contaminación por el uso de plaguicidas en la región comprendida entre el río Mira y el río Caunapí en la bahía de Tumaco. Revista de ciencias Universidad del Valle. Cali. Colombia. 1993. p. 95-107.

Page D, Boehm P, Douglas G, Bence E. “Identification of hydrocarbon sources in the benthic sediments of the Prince William Sound and the Gulf of Alaska following the Exxon Valdez oil spill”. In: Wells, P.G., Butler, J.N., Hughes, J.S. (Eds). 1995.

Palacios AM, Rodríguez-Ramírez A, Muñoz CG, Zapata FA. Corales. En: Evaluación de línea base de la biodiversidad marina del Parque Nacional Natural isla Gorgona. Corredor marino de conservación del Pacífico Este Tropical. Informe Proyecto. Conservación Internacional-Fundación Yubarta. Cali. Colombia. 2008.

Pantoja-Timarán F. 2008. La actividad acuífera en Nariño. En: Delgado A., Ruiz S., Arévalo L., Castillo G, Viles N. (Eds). 2008. Plan de Acción en Biodiversidad del departamento de Nariño 2006 – 2030 - Propuesta Técnica. Corponariño, Gobernación de Nariño - Secretaría de Agricultura, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales - UAESPNN - Territorial Surandina, Universidad de Nariño, Universidad Mariana y Asociación para el Desarrollo Campesino. San Juan de Pasto. Colombia.

Papageorgiou N, Arvanitidis C, Eleftheriou A. Multicausal environmental severity: a flexible framework for microtidal sandy beaches and the role of polychaetes as an indicator taxon. Estuar. Coast. Shelf. Sci. 2006. 70: 643-653.

Parques Nacionales Naturales de Colombia PNNC. Guía Parques Nacionales Naturales de Colombia. Región Pacífico. Bogotá. Colombia. 2009. p. 240 -275.

Parques Nacionales Naturales de Colombia PNNC. Plan de Manejo 2007 – 2011 Parque Nacional Natural Utría.

Dirección Territorial Noroccidente. Medellín. Colombia. 2007. p. 8.

Patiño J. Variación espacio-temporal del zooplancton en la ensenada de Tumaco, Costa Pacífica Colombiana. Período mayo-diciembre 1999. Informe Convenio Ecopetrol- Cccp. Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP). Tumaco. Colombia. 1999. p. 25.

Pearson TH, Rosenberg R. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanog. Mar. Biol.* 1978. 16: 229-311.

Pedroche FF, West JA, Zucarello GC, Senties A, Karsten U. Marine red algae of the mangrove in southern Pacific México and Pacific Guatemala. *Bot. Mar.* 1995. 38: 111-119.

Peña EJ, Palacios ML, Ospina O. Algas como indicadoras de contaminación. Editorial Universidad del Valle. Cali. Colombia. 2005. p. 123.

Peña EJ, Zingmark R, Nietch C. Comparative photosynthesis of two species of epiphytic macroalgae on mangrove roots during submersion and emersion. *J. Phycol.* 1999. 35: 1206-1214.

Pereira PMF, Black KD, McLusky DS, Nickell TD. Recovery of sediments after cessation of marine fish farm production. *Aquaculture.* 2004. 235: 315-330.

Pérez – Rincón Mario A. Los agrocombustibles: ¿sólo canto de sirenas? En: Censat Agua Viva. Agrocombustibles: llenando tanques, vaciando territorios. Colombia. 2008. p. 88.

Posada BO, Henao W, Guzmán G. Diagnóstico de la erosión y sedimentación en la zona costera del Pacífico colombiano. Invenmar, Serie Publicaciones Especiales No. 17, Santa Marta. Colombia. 2009. p. 148.

Prahl H von, Cantera J, Contreras R. Manglares y hombres del Pacífico colombiano. Fondo FEN. Primera Edición. Bogotá. Colombia. 1990. p. 193.

Prahl H von, Erhardt H. Colombia, corales y arrecifes coralinos. Fondo FEN. Bogotá. Colombia. 1985. p. 295.

Prahl H von. 1989. Manglares de Colombia. Banco de Occidente. Villegas Editores. Cali. Colombia. p. 203.

Prahl H von. Lista anotada de arrecifes coralinos y corales de Colombia. *Actualidades Biológicas.* 1985. 15 (51): 26-38.

Presidencia de la República y Ministerio de Relaciones Exteriores. Colombia, Patria de tres mares. ExpoLisboa 98. Diego Samper Editorial. Bogotá. Colombia. 1998.

Proyecto “Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats” Objetivos de Calidad de Agua y Sedimentos para el Área Común del Río de la Plata y su Frente Marítimo. Proyecto PNUD/Geflra/99/G31. Octubre de 2006.

Rajendran RB, Imagawaa T, Tao H, Ramesh R. Distribution of PCBs, HCHs and DDTs, and their ecotoxicological implications in Bay of Bengal, India. *Environ. Inter.* 2005. 31: 503-512.

Ramírez AR, Szelistowski WA, López MI. Composition and abundance of ichthyoplankton in a Gulf of Nicoya mangrove estuary. *Rev. Biol. Trop.* 1990. 38 (2B): 463-466.

Ramírez AR, Szelistowski WA, López MI. Spawning pattern and larval recruitment in Gulf of Nicoya anchovies (Pisces: Engraulidae). *Rev. Biol. Trop.* 1989. 37 (1): 55-62.

Ramírez DG, Giraldo A. Estructura comunitaria del fitoplancton de la cuenca Pacífica colombiana durante la campaña

oceanográfica XXXIX-Erfen XXXVII. Bol. Cient. Cccp. 2006. 13: 65-84

Ramírez Roa DG, Giraldo A. Estructura comunitaria del fitoplancton de la cuenca del océano Pacífico colombiano durante la campaña oceanográfica Pacífico XXXIX – Erfen XXXVII. Bol. Cient. Cccp. 2006. 13: 65-84.

Rangel JO, Lowy PD, Aguilar M. Distribución de los tipos de vegetación en las regiones naturales de Colombia. En: Rangel JO, Lowy PD, Aguilar M. Colombia Diversidad Biótica II. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1997. p. 383-402.

Raz-Guzmán A. Crustáceos y poliquetos. En: De la Lanza EG, Hernández PS, Carbajal PJJ. (Eds). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). Plaza y Valdés. México. 2000. p. 633.

Restrepo LJC. Aportes de los caudales de los ríos Baudó, San Juan, Patía y Mira a la cuenca Pacífica colombiana. Bol. Cient. Cccp. 2006. 13: 17-32.

Richards GP. The evolution of molluscan shellfish safety. In: Villalba A, Regueras B, Romalde JL, Beiras R. (Ed). Molluscan shellfish safety. Proceedings 4th International Conference Molluscan Shellfish Safety, IOC, UNESCO. 2003. p. 221–256.

Riisgard HU, Kiorbe T, Mohlenberg F, Draback I, Pheiffer Madsen P. Accumulation, elimination and chemical speciation of mercury in the bivalves *Mytilus edulis* and *Macoma balthica*. Mar. Biol. 1985. 86: 55-62.

Robertson AI, Alongi DM, Boto KG. Food chains and carbon fluxes. In: Robertson AI, Alongi DM. (Eds). Coastal and Estuarine Studies: Tropical Mangrove Ecosystems. American Geophysical Union. Washington. 1992. p. 293-326.

Robertson K. Morfodinámica, población y amenazas naturales en la costa Pacífica colombiana. Universidad Nacional. Informe técnico. Bogotá. Colombia. 1997. p. 80.

Rodríguez J, Hleap JJ, Estrada F, Clavijo JC, Perea N, Vélez R, Delgado JA, Castellanos DN, Santana QE. “Agroindustria Pesquera en el Pacífico Colombiano: Gestión de Residuos Pecuarios en Sistema de Producción más Limpia”. Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas (GEAL). Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Palmira. Colombia. 2010.

Rodríguez-Rubio E, Puentes M. Hidrodinámica en la bahía de Tumaco como agente en los procesos de transporte y arrastre de hidrocarburos y determinación del mapa de sensibilidad como una herramienta auxiliar para el monitoreo ambiental. Informe técnico. Dirección General Marítima – Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Tumaco. Colombia. 2010.

Rojas Higuera PJ, Ortiz RJ. Comportamiento del fitoplancton durante el evento ENOS en el océano Pacífico colombiano. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. 2007. (6): 5-15.

Rojas Ríos A, Steer Ruiz R, Ramos Mora A, Enríquez Martínez F, García Romero M. Amenaza de desastres: construcciones palafíticas sobre bienes de uso público. Procuraduría General de la Nación. Colombia. 2008. p. 509.

Roldán Pérez G. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 1999. 23 (88): 375-387.

Romero-Torres M, Acosta A. Corales duros del Pacífico colombiano: guía visual de identificación. Unión Gráfica Ltda. Bogotá. Colombia. 2010. p. 41.

Rueda J, Rodríguez-Rubio E, Ortiz J. Caracterización espacio temporal del campo de vientos superficiales del Pacífico colombiano y el golfo de Panamá a partir de sensores remotos y datos in situ. Bol. Cient. Cccp. 2007. 14: 49-68.

Saavedra J, Zapata F. Patrones de abundancia y diversidad de la macrofauna asociada a dos especies de octocorales de

bahía Málaga en el Pacífico colombiano. En: Libro de Resúmenes: VIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar y Congreso Centroamericano y del Caribe en Ciencias del Mar. 1992. p. 377–386.

Sampson RW, Swiatnicki SA, Osinga VL, Supita JL, McDermott CM, Kleinheinz GT. Effects of temperature and sand on *E. coli* survival in a northern lake water microcosm. *J. Water and Health*. 2006. 4: 389-393.

Sánchez-Páez C, Álvarez-León R. Diagnóstico y zonificación preliminar de los manglares del Pacífico de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, Dirección General Forestal y de Vida Silvestre. Organización Internacional de Maderas Tropicales. Bogotá. Colombia. 1997. p. 343.

Selvakumar A, Borst M. Variation of microorganism concentrations in urban stormwater runoff with land use and seasons. *J. Water and Health*. 2006. 4: 109-124.

Sericano J, Wade T, Jackson TJ, Brooks JM, Tripp BW, Farrington JW, Mee LD, Readman JW, Villeneuve JP, Goldberg E.D. Trace organic contamination in the americas: An overview of the US National Status & Trends and the International “Mussel Watch” Programmes. *Mar. Pollut. Bull.* 1995. 31 (4-12): 214–225.

Sharp GJ, Samant HS, Vaidya OC. Selected metal levels of commercially valuable seaweeds adjacent to and distant from point sources of contamination in Nova Scotia and New Brunswick. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 1988. 40: 724-730.

Skarphéðinsdóttir H, Ericson G, Svavarsson J, Kristoffer N. DNA adducts and polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) tissue levels in blue mussels (*Mytilus spp.*) from Nordic coastal sites. *Mar. Environ. Res.* 2007. 74: 479–491.

Snedaker S, Getter CD. Costas: Pautas para el manejo de los recursos costeros. Serie de información sobre recursos renovables. Publicación No.2. U.S. Agency for International Development. 1985.

Souza RC, Fernández FC, Danelon OM, Larsen KTS, Silva JSV, Collichio F, Rapagnã L. Metodologia de amostragem dos organismos transportados en água de lastre dos navios mercantes. *Rev. Pesquisa Naval*. 2001. 14: 221-235.

Steer R, Arias-Isaza F, Ramos A, Sierra-Correa P, Alonso D, Ocampo P. Documento base para la elaboración de la “Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas”. Documento de consultoría para el Ministerio del Medio Ambiente. Serie publicaciones especiales No. 6. 1997.

Stephenson TA, Stephenson A. The universal features of zonation between tide-marks on rocky coasts. *J. Ecol.* 1949. 37: 289-305.

Sunderland D, Graczyk T, Tamang I, Breyse P. Impact of bathers on levels of *Cryptosporidium parvum* oocysts and *Giardia lamblia* cyst in recreational beach waters. *Water Res.* 2007. 41: 3483–3489.

Szelistowski WA. Importance of mangrove plant litter in fish food webs and as temporary, floating habitat in the Gulf of Nicoya. [PhD. Thesis]. Los Angeles. University of Southern California. 1990.

Takeuchi I, Miyoshi N, Mizukawa K, Takada H, Ikemoto T, Omori K, *et al.*, Biomagnification profiles of polycyclic aromatic hydrocarbons, alkylphenols and polychlorinated biphenyls in Tokyo Bay elucidated by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotope ratios as guides to trophic web structure. *Mar. Pollut. Bull.* 2009. 58: 663-671.

Tejada C, Castro LA, Navarrete A, Cardona T, Otero L, Afanador F, Mogollón A, Pedroza W. Panorama de la Contaminación Marina del Pacífico Colombiano. Centro de Control de Contaminación del Pacífico Colombiano. Ed. Dimar. Serie Publicaciones Especiales Vol. 3, San Andrés de Tumaco. Colombia. 2003. p. 120.

Tejada C, García L, Malikov I, Villegas N. Compilación Oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana, centro Control Contaminación del Pacífico. Ed. Dimar. Serie de Publicaciones Especiales Vol. 1. San Andrés de Tumaco. Colombia. 2003. p. 124.

Thresher RE. Geographic variability in the ecology coral reef fishes: evidence, evolution and possible implications. In: Sale PF. (Ed). The ecology of fishes on coral reefs. Academic Press. San Diego. USA. 1991. p. 401- 436.

Tomlinson PB. The Botany of Mangroves. Cambridge University Press, Cambridge. 1986. p. 413.

Troncoso W, Vivas L, Sánchez J, Narváez S, Echeverry L, Parra J. 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. Colombia. 2009. p. 185.

Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales Uaesppn. Plan de Manejo 2005-2009 Parque Nacional Natural Sanquianga. Informe Ejecutivo. Dirección Territorial Suroccidente. Santiago de Cali. Colombia. 2005. p. 299.

Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales Uaesppn. Plan de Manejo 2005-2009 Parque Nacional Natural Isla Gorgona. Resumen ejecutivo. Dirección Territorial Suroccidente. Santiago de Cali. Colombia. 2005a. p. 31.

Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales Uaesppn. Plan de Manejo 2007-2011 Parque Nacional Natural Utría. Resumen ejecutivo. Dirección Territorial Noroccidente. Medellín. Colombia. 2007. p. 32.

Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales Uaesppn. Plan de Manejo 2008 Parque Nacional Natural Isla Gorgona. Resumen Ejecutivo. Dirección Territorial Noroccidente. Medellín. Colombia. 2008. p. 31.

Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales Uaesppn. Plan de Manejo 2005-2009 Santuario de Flora y Fauna Malpelo. Informe Ejecutivo. Dirección Territorial Suroccidente. Santiago de Cali. Colombia. 2009. p. 126.

Unidad de Planeación Minero y Energético UPME. 2006. Formulación de una Iniciativa de Producción más Limpia Dirigido al Sector de los Metales Preciosos en Pequeña Escala en Colombia Para Ser Implementado a través de los Centros Ambientales Mineros (CAM) u otros Instrumentos Técnicos. Medellín. 2006. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Docs/Mineria/1865.pdf>

Utley Barbra C, Vellidis G, Lowrance R, Smith MC. Factors affecting sediment oxygen demand dynamics in backwater streams of Georgia's coastal plain. J. Am. Water Resour. As. 2008. 44: 742-743.

Valencia B, Giraldo A. Hipéridos (Crustacea: Amphipoda) en el sector norte del Pacífico oriental tropical colombiano. Lat. Am. J. Aquat. Res. 2009. 37 (2): 265-273.

Vargas Ochoa A, Ramírez Gallego C. Caracterización estructural de formaciones coralinas en la ensenada de Utría, Parque Nacional Natural de Utría, Pacífico – Colombia. Gestión y Ambiente. 2008. 11 (3): 7-16.

Vargas-Ángel B. Corals and coral reefs of the Pacific coast of Colombia with a special reference to spatial and temporal patterns of environmental disturbances. *Dissertations from ProQuest*. Paper 1785. 2001. <http://scholarlyrepository.miami.edu/dissertations/1785>.

Vargas-Ángel B. Distribution and community structure of the reef: corals of ensenada de Utría, Pacific coast of Colombia. Rev. Bio. Trop. 1996. 44 (2): 643-651.

Vegas M. Introducción a la ecología del bentos marino. Monografía 9. OEA. Washington D.C. 1980.

Velasco-Vinasco E. Levantamiento de línea base portuaria y caracterización del agua de lastre de buques de tráfico

internacional en el puerto de Tumaco, costa Pacífica colombiana. Informe Técnico. Centro de Control de Contaminación del Pacífico – Cccp. Tumaco. Colombia. 2009. p. 62.

Venkatesan MI. Occurrence and possible sources of perylene in marine sediments-a review. *Mar. Chem.* 1988. 25 (1): 1-27.

Villegas N, Málíkov I. Modelación de la estructura dinámica de las aguas de la cuenca del Pacífico colombiano. *Bol. Cient. Cccp.* 2006. 13: 97-114.

Vinggaard AM, Hnida C, Larsen JC. Environmental polycyclic aromatic hydrocarbons affect androgen receptor activation in vitro. *Toxicology.* 2000. 145 (14): 173-183.

Vivas – Aguas L, Tosic M, Sánchez J, Narváez S, Cadavid B, Bautista P, *et al.* Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombianos. Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia, Redcam. Informe Técnico 2010. Invemar. Santa Marta. Colombia. 2010. p. 208.

Wade T, Calderón R, Sams E, Beach M, Brenner K, Williams A. Rapidly measured indicators of recreational water quality are predictive of swimming-associated gastrointestinal illness. *Environ. Health Perspect.* 2006. 114: 24–28.

Walker CH, Livingstone DR. Persistent pollutants in marine ecosystems. A Special Publication of SETAC, Pergamon Press. New York. 1992. p. 270.

Wang Z, Fingas M, Owens EH, Sigouin L, Brown CE. Long-term fate and persistence of the spilled metula oil in a marine salt marsh environment degradation of petroleum biomarkers. *J. Chromatogr.* 2001. 926 (2): 275-90.

Wang W, Lewis MA. Metal accumulation by aquatic macrophytes. 1997. En: Ospina-Álvarez N, Peña EJ, Benítez R. Efecto de la salinidad en la capacidad de bioacumulación de plomo en el alga verde *Rhizoclonium riparium* (Roth) Harvey (Chlorophyceae, Cladophorales). *Actual. Biol.* 2006. 28 (84): 17–25.

Wehrtmann IS, Dittel AI. Utilization of floating mangrove leaves as a transport mechanisms of estuarine organisms, with emphasis on decapod Crustacea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1990. 60: 67-73.

World Health Organization WHO. 1999. Health based Monitoring of Recreational Waters: The Feasibility of a New Approach (The “Annapolis Protocol”). Protection Of the Human Enviroment Water, Sanitation and Health Series. Geneva: WHO. WHO/SDE/WSH/99.1. p. 50.

Wirty K. Oceanographic observations in the Panamá bight. “Askoy” Expedition, 1941. *Amer. Mus. Nat. Hist.*, 1965. *Bull.* 118(3):113-152. Disponible en: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/faunayflora/pacific1/cap1b.htm>

Wurl O, Obbard JP. Organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in Singapore coastal marine sediments. *Chemosphere.* 2005. 58: 925–933.

Zambrano-Ortiz MM, Casanova-Rosero RF, Arencibia-Carballo G, Vidal-Novoa A. Bioacumulación y toxicidad de hidrocarburos aromáticos policíclicos en moluscos bivalvos del Pacífico colombiano. *Bol. Cient. CIOH.* 2011. (28): 203–227.

Zapata F. Las comunidades y arrecifes coralinos del Pacífico colombiano. Memorias del Taller de Expertos Sobre el Estado del Conocimiento y Lineamientos para una Estrategia Nacional de Biodiversidad en los Sistemas Marinos y Costeros, CCO/Colciencias, Minca. 1994. p. 176-194.

Zapata F. Formaciones coralinas de isla Gorgona. pp 27-40. En: Barrios L.M. & M. López-Victoria (Eds). *Gorgona marina: Contribución al conocimiento de una isla única.* Invemar, Ser. Publ. Esp. No. 7. Santa Marta. Colombia. 2001a. p. 160.

Zapata F. Ecología de peces arrecifales de Gorgona: Composición, abundancia, diversidad e historia de vida temprana. En: Barrios L.M. & M. López-Victoria (Eds). Gorgona marina: Contribución al conocimiento de una isla única. Invemar, Ser. Publ. Esp. No. 7. Santa Marta. Colombia. 2001b. p. 160.

Zapata F, Vargas-Ángel B. Corals and coral reefs of the Pacific coast of Colombia. En: Cortes J. (Ed). Coral reefs of Latin America. Elsevier Science. Amsterdam. 2003. p. 419-447.

Zea J, Montealegre E. El fenómeno “El Niño” y sus efectos en el comportamiento del clima en el Pacífico Colombiano durante el período 1982-1986. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. Himat. Bogotá. Colombia. 1992.

AGRADECIMIENTOS

El editor y los autores agradecen especialmente al personal civil y uniformado del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico – Cccp por su apoyo y colaboración en cuanto al suministro de información.

A la Ingeniera Marcela Caviedes, funcionaria de Corponariño, por su disponibilidad para proporcionar información sobre diversos aspectos de la región.

Al personal de las Capitanías de Puerto de Guapi, Buenaventura, Bahía Solano y Tumaco, por el suministro de información relacionada con censos de las zonas de bajamar y su disponibilidad para atender las diversas solicitudes realizadas.

A las empresas de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Tumaco (Aquaseo), y Buenaventura y Medio Ambiente (BMA), por el suministro de información técnica relativa al manejo de residuos sólidos.

Al Doctor Freddy Pantoja, profesor de la Universidad de Nariño por el suministro de información técnica relacionada con actividades mineras en la región.

Al Ingeniero Juan Carlos Clavijo, del grupo de Eficiencia Energética y Energías Alternativas de la Universidad Nacional, sede Palmira, quien aportó información sobre las cargas de residuos generados por la industria pesquera en Buenaventura.

Panorama de la contaminación MARINA DEL PACÍFICO COLOMBIANO 2005 - 2010



La presente publicación especial contiene un panorama general relativo a la evaluación de variables físico-químicas y sustancias contaminantes en las principales bahías del Pacífico colombiano; así mismo, abarca una descripción de los ecosistemas aunado a la biodiversidad que albergan, como también algunas actividades y acciones que interactúan en los procesos biogeoquímicos. Por esta razón, se recomienda a todos quienes usufruamos directa e indirectamente de los recursos, bienes y servicios ambientales de una de las regiones más biodiversas del país, promover una mayor concientización y sentido de pertenencia por conservar estos recursos invaluable. Finalmente, se aconseja a las entidades competentes realizar una vigilancia sistemática de los ecosistemas del Pacífico colombiano con el fin de mantener actualizado este tipo de evaluaciones ambientales.

SERIE DE PUBLICACIONES ESPECIALES / Volumen 7.

