



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

RESOLUCIÓN 0100 No. 0660- 1032 DE 2017

(22 DIC 2017)

"POR LA CUAL SE FIJAN LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHIA DE BUENAVENTURA"

El Director General de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC, en uso de sus facultades legales y en especial lo dispuesto en el Decreto Ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, el Decreto 1076 de 2015, las Resoluciones 1433 de 2004, 2145 de 2005 y 686 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y demás normas concordantes y,

CONSIDERANDO:

Que de conformidad con el artículo 31 de la Ley 99 de 1993 corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales ejercer la función de máxima autoridad ambiental en el área de su jurisdicción.

Que conforme a la Ley 99 de 1993 (artículo 42) "*La utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, o actividades económicas o de servicio, sean o no lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas*";

Que mediante el Decreto 3100 de 2003, actualmente compilado en el Decreto 1076 de 2015, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, estableció la figura de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos como el conjunto de programas, proyectos y actividades tendientes a mejorar las condiciones de recolección, transporte y tratamiento de las aguas residuales que se generan en los centros poblados, lo cual fue reglamentado mediante la Resolución 1433 de 2004.

Que los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, deben ser formulados por las Personas Prestadoras de los servicios de alcantarillado de acuerdo con lo establecido en la Resolución 1433 de 2004 y con base en los objetivos de calidad de los cuerpos de agua que deben ser fijados por las Autoridades Ambientales a la luz de lo estipulado en la Resolución No. 2145 de 2005.

Que la CVC inicialmente realizó la evaluación de la calidad del agua del río Cauca, sus tributarios y de los vertimientos generados en el tramo correspondiente al Valle del Cauca, con base en el ejercicio prospectivo, se establecieron los objetivos de calidad para el río Cauca en su área de jurisdicción, mediante la Resolución No 0686 de 2006, cuenca que comprende 35 cuencas tributarias y en la que se encuentran asentados 33 de los 42 municipios del Valle del Cauca.

MS
MP
nm - qu



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

Página 2 de 6

RESOLUCIÓN 0100 No. 0660- **1032** DE 2017

()

“POR LA CUAL SE FIJAN LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHIA DE BUENAVENTURA”

Que en la cuenca del Río Dagua, la CVC realizó el inventario de usuarios de vertimiento en la cuenca hidrográfica, estableció una red de monitoreo de la calidad para evaluar los impactos por los vertimientos generados y con base en esto, estableció los objetivos de calidad de agua para los ríos priorizados de la cuenca mediante la Resolución 0100 No. 0660-0076 de 2014.

Que el Distrito de Buenaventura como la tercera entidad territorial más poblada del departamento, es indispensable determinar los objetivos de calidad por usos del recurso hídrico en la bahía como complemento al proceso de ordenamiento en el río Dagua, ya que la Bahía de Buenaventura hace parte integral de su cuenca baja y recibe múltiples presiones provenientes de la población y carga contaminante de las actividades antrópicas, que disponen de forma inadecuada sus aguas residuales sin previo tratamiento sobre la costa Pacífica colombiana.

En este sentido y con el presente documento técnico en el que se plantean los enfoques y aspectos conceptuales en función de los usos del agua, ecosistemas marino-costeros, parámetros, valores de referencia y los resultados obtenidos en la modelación bajo diferentes escenarios en la Bahía de Buenaventura y que servirá de soporte al acto administrativo a través del cual se fijarán los objetivos de calidad de agua en la Bahía de Buenaventura, la CVC da cumplimiento a la Resolución No. 2145 de 2005.

Que el Decreto 2667 de 2012 (actualmente compilado en el Decreto 1076 de 2015) reglamentó la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, e impuso como una de las obligaciones a cargo de la autoridad ambiental, contar con la siguiente información de manera previa al establecimiento de las metas de carga contaminante en un cuerpo de agua o tramo del mismo:

“Artículo 11 (actualmente artículo 2.2.9.7.3.4 del decreto 1076 de 2015). Información previa al establecimiento de las metas de carga contaminante. Previo al establecimiento de las metas de carga contaminante en un cuerpo de agua o tramo del mismo, la autoridad ambiental competente deberá: Documentar el estado del cuerpo de agua o tramo del mismo en términos de calidad y cantidad.

1. *Identificar los usuarios que realizan vertimientos en cada cuerpo de agua. Para cada usuario deberá conocer ya sea con mediciones, estimaciones presuntivas o bien mediante autodeclaraciones, la concentración de cada elemento, sustancia o parámetro contaminante presente en los vertimientos de agua y el caudal del efluente, para la determinación de la carga total vertida objeto del cobro de la tasa.*

MP DJ

VERSION: 05

mm

gc

Comprometidos con la vida

COD: FT.0550.04



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

Página 3 de 6

RESOLUCIÓN 0100 No. 0660-1032 DE 2017

()

“POR LA CUAL SE FIJAN LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHIA DE BUENAVENTURA”

2. *Determinar si los usuarios identificados en el numeral anterior, tienen o no Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos -PSMV, Permiso de Vertimientos vigente, Plan de Reconversión a Tecnología Limpia en Gestión de Vertimientos, de conformidad con lo dispuesto con el Decreto 3930 de 2010.*
3. *Calcular la línea base como el total de carga contaminante de cada elemento, sustancia o parámetro contaminante vertida al cuerpo de agua o tramo del mismo, durante un año, por los usuarios sujetos al pago de la tasa.*
4. **Establecer objetivos de calidad de los cuerpos de agua o tramos de los mismos.** (subrayas nuestras).

Que el artículo 2.2.9.7.3.3 del Decreto 1076 de 2015, establece que la meta individual para los prestadores del servicio de alcantarillado corresponderá a la contenida en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), presentado por el respectivo prestador del servicio y aprobado por la autoridad ambiental competente de conformidad con la Resolución 1433 de 2004, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *“Dicho plan contemplará las actividades e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos y el cumplimiento de la meta individual establecida, así como los indicadores de seguimiento de las mismas. Para efectos del ajuste del factor regional se considerará el indicador de número de vertimientos puntuales eliminados por cuerpo de agua, de acuerdo a lo establecido en el parágrafo 2° del artículo 17 del presente decreto”;*

Que es deber de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, en su condición de máxima autoridad ambiental regional, establecer objetivos de calidad de los cuerpos de agua o tramos de los mismos como requisito previo al establecimiento de la meta de carga contaminante de conformidad con lo previsto en el Decreto 1076 de 2015.

Que posterior al cumplimiento de los requisitos previstos en la citada norma, la Corporación deberá iniciar el proceso de consulta y llevar a cabo el procedimiento para el establecimiento de la meta global de carga contaminante señalada en el artículo 2.2.9.7.3.5 del Decreto 1076 de 2015.

Que como resultado de lo anterior, se cuenta con el documento técnico que hace parte integral de la Resolución, elaborado por la Dirección Técnica Ambiental, en él se consignan las siguientes consideraciones frente a la propuesta de objetivos de calidad del aguas de la Bahía de Buenaventura :



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

RESOLUCIÓN 0100 No. 0660- 1032 DE 2017

()

“POR LA CUAL SE FIJAN LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHIA DE BUENAVENTURA”

“Para la definición de los objetivos de calidad de la Bahía de Buenaventura se dividió el área de estudio en dos sectores: Cascajal y Canal, considerando el comportamiento estadístico de los datos y los usos actuales, potenciales y preponderantes, que fueron identificados mediante talleres de trabajo con actores, información secundaria, revisión de información geográfica, entre otras fuentes de información que aportaron en la construcción de las tablas adaptadas de la Guía MESOCA.”

Que en el mencionado documento, se sustenta además la metodología, los criterios y demás información de carácter técnico, empleados para el establecimiento de los objetivos de calidad del agua de la Bahía de Buenaventura y los tramos para los que se definen objetivos de Calidad.

Que la Dirección Técnica Ambiental de la CVC, mediante el memorando 0690-870162017 remite el 5 de diciembre de 2017, a la Oficina Asesora Jurídica de la CVC, una solicitud de preparación del acto administrativo para fijar los objetivos de calidad del agua de la Bahía de Buenaventura, adjuntando como soporte el documento técnico de noviembre de 2017 que sustenta la propuesta de establecimiento de los objetivos de calidad citados.

Que los argumentos técnicos se encuentran amparados en normas que facultan a la Corporación para establecer los objetivos de calidad del agua de la Bahía de Buenaventura, conforme a los criterios de selección aplicados y para los efectos previstos,

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. ADOPTAR los objetivos de calidad del agua de la Bahía de Buenaventura con fundamento en la parte motiva del presente acto administrativo y en el documento soporte de la Dirección Técnica Ambiental de noviembre de 2017 que se encuentra como anexo:

Tabla 1. Propuesta Objetivos de Calidad Bahía Buenaventura.

SECTOR	PARÁMETRO	METAS Y OBJETIVOS		
		2022 CORTO PLAZO	2027 MEDIANO PLAZO	2037 LARGO PLAZO
Cascajal	pH	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5
	Oxígeno disuelto (OD) (mg/L)	>4 y <10	>4 y <10	>4 y <10



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

Página 5 de 6

RESOLUCIÓN 0100 No. 0660- 1032 DE 2017

()

“POR LA CUAL SE FIJAN LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHIA DE BUENAVENTURA”

	DBO ₅ a 20°C (mg/L)	≤3	≤3	≤3
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	≤ 8100	≤ 8100	≤ 200
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	≤15000	≤15000	≤1000
	Temperatura (°C)	26-30 °C ± 3°C	26-30 °C ± 3°C	26-30 °C ± 3°C
	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	≤40	≤30	≤30
	Nitratos (µg/L)	≤60	≤60	≤60
	Nitritos (µg/L)	≤55	≤55	≤55
	Amonio (µg/L)	≤70	≤70	≤70
	Fosfatos (µg/L)	≤45	≤45	≤45
	Hidrocarburos (µg/L)	≤10	≤10	≤10
	Grasas y aceites (mg/L)	0,14	0,14	0,14
	Material Flotante (visible)	Presente	Ausente	Ausente
Canal	pH	6,5 -8,5	6,5 -8,5	6,5 -8,5
	Oxígeno disuelto (mg/L)	>4 y <10	>4 y <10	>4 y <10
	DBO ₅ a 20°C (mg/L)	≤3	≤3	≤3
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	≤6600	≤6600	≤200
	Coliformes totales (NMP/100mL)	≤66000	≤66000	≤1000
	Temperatura (°C)	27-30 °C ± 3°C	27-30 °C ± 3°C	27-30 °C ± 3°C
	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	≤55,8	≤30	≤30
	Nitratos (µg/L)	≤60	≤60	≤60
	Nitritos (µg/L)	≤55	≤55	≤55
	Amonio (µg/L)	≤70	≤70	≤70
	Fosfatos (µg/L)	≤65	≤65	≤65
	Hidrocarburos (µg/L)	≤10	≤10	≤10
	Grasas y aceites (mg/L)	0,14	0,14	0,14
	Material Flotante (visible)	Presente	Ausente	Ausente

PARÁGRAFO. Hace parte integral del presente acto administrativo, el documento anexo denominado “Objetivos de calidad del agua de la Bahía de Buenaventura” de la Dirección



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

Página 6 de 6

RESOLUCIÓN 0100 No. 0660-1032 DE 2017

()

“POR LA CUAL SE FIJAN LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHIA DE BUENAVENTURA”

Técnica Ambiental de la CVC de noviembre de 2017, el cual constituye el soporte técnico del presente acto administrativo.

ARTÍCULO SEGUNDO. El Distrito de Buenaventura, así como las empresas de servicios públicos de alcantarillado del Distrito, deberán presentar ante la Dirección Ambiental Regional Pacífico Oeste de la CVC, los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos PSMV dentro de los cuatro meses siguientes a la publicación del presente acto administrativo.

ARTÍCULO TERCERO. Para todos los efectos, este acto administrativo se expide como requisito previo al establecimiento de las metas de calidad en la forma prevista en el Decreto 1076 de 2015.

ARTÍCULO CUARTO. El presente acto administrativo requiere ser publicado en el Diario Oficial y en la página Web de la CVC y deberá comunicarse por la Dirección Ambiental Regional pacífico Oeste de la CVC, al Distrito de Buenaventura, así como las empresas de servicios públicos de alcantarillado del Distrito.

ARTÍCULO QUINTO. El presente acto administrativo rige a partir de la fecha de su publicación.

DADA EN SANTIAGO DE CALI, A LOS 22 DIC 2017

PUBLÍQUESE, COMUNÍQUESE Y CÚMPLASE

RUBEN DARIO MATERÓN MUÑOZ
Director General.

Proyectó: James Ortega Argoti. – Profesional Especializado Grupo Jurídico Ambiental Oficina Asesora Jurídica,
Paola Patiño– Profesional Dirección Técnica Ambiental
Revisó: María Victoria Palta Fernández - Coordinadora Grupo Jurídico Ambiental Oficina Asesora de Jurídica
Diana Sandoval Aramburo - Jefe Oficina Asesora de Jurídica. María Cristina Valencia R. Secretaria General (E)

qu
Materón

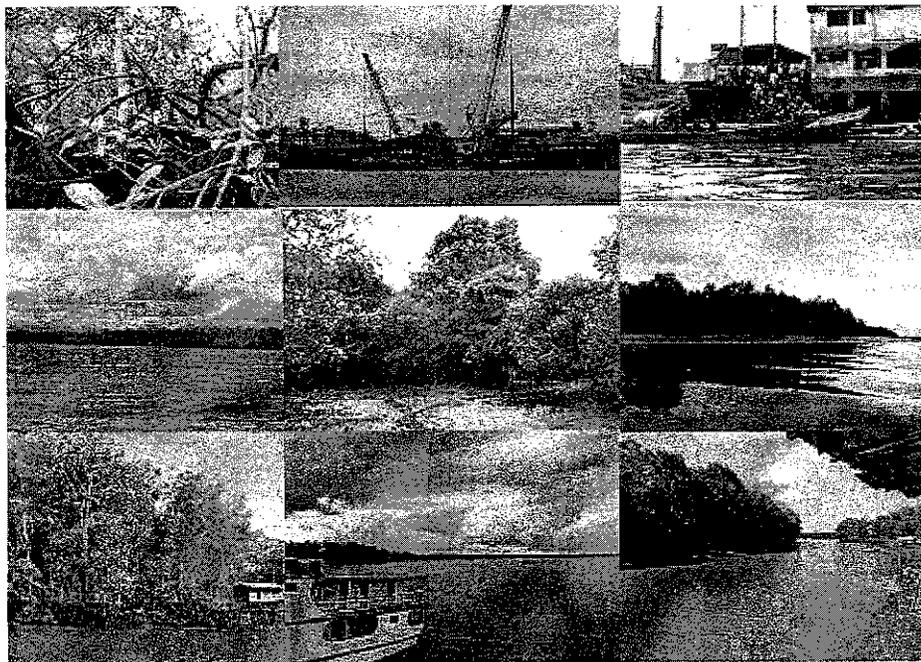
25



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

DIRECCIÓN TÉCNICA AMBIENTAL

OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHÍA DE BUENAVENTURA



Santiago de Cali, noviembre 2017

Preparó
Sandra Marcela Lozano.
Revisó
Paola Janeth Patiño

TABLA DE CONTENIDO

1	OBJETIVO	6
	Objetivos específicos	6
2.	ANTECEDENTES	6
3.	METODOLOGÍA	7
	3.1 Trabajo de Campo	7
	3.2 Procesamiento y Análisis de información	8
4.	DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL CALIDAD DE LA BAHÍA	9
	4.1 Temperatura	10
	4.2 Salinidad	10
	4.3 pH	11
	4.5 Oxígeno disuelto (OD)	12
	4.6. Sólidos Suspendidos Totales - SST	13
	4.7. Nutrientes inorgánicos disueltos	14
	4.8 Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO ₅	16
	4.9 Indicadores Microbiológicos	17
	4.10 Hidrocarburos	19
5.	REDUCCIONES PROPUESTAS Y CALIDAD ESPERADA EN LOS ESCENARIOS MODELADOS A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO	23
6.	DEFINICIÓN DE SECTORES POR USOS REALES Y POTENCIALES	27
	6.1 Uso de pesca, maricultura y acuicultura	29
	6.2 Uso navegación y transporte	30
	6.3 Uso de preservación de flora y fauna	31
7.	DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DE CALIDAD	34
	7.1 Propuesta inicial de objetivos de calidad por usos a corto, mediano y largo plazo	34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Estaciones de muestreo ubicadas en la Bahía de Buenaventura	7
Tabla 2.	Estadística descriptiva de variables de calidad del agua superficial medidas en estaciones del sector Canal	9
Tabla 3.	Estadística descriptiva de variables de calidad del agua superficial medidas en estaciones del sector Cascajal	9
Tabla 4.	Descripción de los Escenarios de Simulación	23
Tabla 5.	Proyección de escenarios para el uso potencial preponderante de preservación de flora y fauna	26
Tabla 6.	Sectores definidos para la propuesta de objetivos de calidad en la bahía de Buenaventura	28
Tabla 7.	Revisión del cumplimiento de calidad del agua en los sectores para el uso de pesca.	29
Tabla 8.	Revisión del cumplimiento de calidad del agua en los sectores para el uso de navegación y transporte.	31
Tabla 9.	Revisión del cumplimiento de calidad del agua en los sectores para el uso de para preservación de flora y fauna.	33
Tabla 10.	Propuesta Objetivos de Calidad Bahía Buenaventura.	35

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización y ubicación de las estaciones en la Bahía de Buenaventura-Isla Cascajal.....	7
Ilustración 2. Variación de la Temperatura superficial del agua en la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).....	10
Ilustración 3. Variación de la Salinidad superficial del agua en la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).....	11
Ilustración 4. Variación del pH superficial del agua en la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).....	12
Ilustración 5. Variación de oxígeno disuelto (mg/L) superficial del agua medido en la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).....	13
Ilustración 6. Variación de sólidos suspendidos totales (mg/L) superficial del agua medidos en la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo.....	13
Ilustración 7. Variación de nitritos medidos en el agua superficial de la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).....	14
Ilustración 8. Variación de los nitratos medidos en el agua superficial de la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).....	15
Ilustración 9. Variación de Fosfatos (µg/l) medidos en el agua superficial de la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).....	16
Ilustración 10. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO – mg/L) medida en el agua superficial de la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).....	17
Ilustración 11. Variación de Coliformes Totales (CTT) medidos en el agua superficial de la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).....	18
Ilustración 12. Variación de Escherichia Coli (NMP/100 mL) medida en el agua superficial de la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).....	19
Ilustración 13. Variación de los Hidrocarburos en la Bahía de Buenaventura en época de altas precipitaciones. a. Hidrocarburos en flujo. b. Hidrocarburos en reflujo y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).....	20
Ilustración 14. Índice de Calidad de Aguas Marinas (ICAM) en época de bajas precipitaciones y reflujo de marea (baja).....	20
Ilustración 15. Índice de Calidad de Aguas Marinas (ICAM) en época de bajas precipitaciones y flujo de marea (alta).....	21
Ilustración 16. Calidad del agua en las estaciones de la bahía de Buenaventura en la época de bajas precipitaciones 2015 en flujo (marea alta) y reflujo (marea baja).....	21
Ilustración 17. Índice de calidad de aguas marinas (ICAM) en época de altas precipitaciones y reflujo de marea (baja).....	22
Ilustración 18. Índice de Calidad de Aguas Marinas (ICAM) en época de altas precipitaciones y flujo de marea (alta).....	22

Ilustración 19. Calidad del agua en las estaciones de la bahía de Buenaventura en la época de altas precipitaciones 2015 en flujo (marea alta) y refluo (marea baja).....	23
Ilustración 20. Variación espacial de la carga contaminante de DBO ₅ durante bajamar para los diferentes escenarios evaluados en la Bahía de Buenaventura.	24
Ilustración 21. Variación espacial de la carga contaminante de Coliformes termotolerantes durante la bajamar para los diferentes escenarios evaluados en la Bahía de Buenaventura.	25
Ilustración 22. Mapa con el uso del suelo y los sectores priorizados en la Bahía de Buenaventura	28
Ilustración 23. Mapa con los usos marinos y los sectores priorizados en la Bahía de Buenaventura y las playas de Juanchaco, Ladrilleros y La Bocana.	28
Ilustración 24. Mapa con el uso de pesca y los sectores priorizados en la Bahía de Buenaventura y las playas de Juanchaco, Ladrilleros y La Bocana.	29
Ilustración 25. Mapa con el uso de navegación y transporte y los sectores priorizados en la Bahía de Buenaventura	31
Ilustración 26. Mapa con el uso de preservación de flora y fauna, y los sectores priorizados en la Bahía de Buenaventura.	32
Ilustración 27. Mapa de cobertura de los ecosistemas presentes en los sectores priorizados en la Bahía de Buenaventura y las playas de Juanchaco, Ladrilleros y La Bocana.	32

INTRODUCCION

La Constitución Política establece en los artículos 79, 80, 95 y 98, la obligación del Estado de proteger la diversidad del ambiente, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano, el deber de los ciudadanos de proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación del ambiente.

La inadecuada recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales, han generado una creciente problemática de contaminación ambiental y sanitaria, no solo en las fuentes abastecedoras de agua, sino también a lo largo de la cuenca y en las zonas costeras, limitando así la disponibilidad del recurso hídrico y restringiendo su uso, debido a que se estima que en Colombia el 95 % de aguas residuales domésticas, el 85 % de las aguas residuales no domésticas se vierten sin tratamiento adecuado y el 95 % de aguas residuales agrícolas se vierten sin tratamiento alguno (IDEAM, 2014), lo cual ha convertido a estos vertimientos como uno de los principales factores de deterioro de la calidad de los cuerpos de agua, y por ende la afectación de los ecosistemas que se ve reflejada en el incipiente manejo y ordenamiento de los recursos hídricos del país, en especial los marino-costeros.

A pesar de esta situación, desde hace más de cuatro décadas, a través del marco normativo se han creado diversos instrumentos como el Código de los Recursos Naturales Renovables Decreto Ley 2811 de 1974 que propende por el uso, conservación y preservación de las aguas. Pasando por clasificación de las aguas con respecto a los vertimientos (Decreto 1541 de 1978), medidas sanitarias para la protección del ambiente (Ley 9 de 1979) y prevención de la contaminación del medio marino (Decreto 1875 de 1979), ordenamiento del recurso por los usos del agua y residuos líquidos del Decreto 1594 de 1984 contenido en el Decreto 1076 de 2015 que define los criterios de calidad para su destinación a diferentes usos y las cargas máximas permisibles para vertimientos, el cual está derogado parcialmente por el Decreto 3930 de 2010 (también contenido en el Decreto 1076 de 2015) donde se establece dos nuevos usos del agua, el ordenamiento y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y al alcantarillado, dando alcance al Decreto 2667 de 2012 (contenido en el Decreto 1076 de 2015) por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y recientemente la Resolución 631 de 2015 por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Adicionalmente, mediante la Resolución No. 1433 de 2004 se reglamentaron los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos considerados como el conjunto de programas, proyectos y actividades tendientes a mejorar las condiciones de recolección, transporte y tratamiento de las aguas residuales que se generan en los centros y posteriormente, mediante la Resolución 2145 de 2005, condicionó la formulación de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos PSMV's a que las Autoridades Ambientales estableciesen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua.

En el Decreto 1076 de 2015, se acoge la figura del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, como instrumento de planificación de las personas prestadoras del servicio de alcantarillado.

En el Distrito de Buenaventura como la tercera entidad territorial más poblada del Departamental, es indispensable determinar los objetivos de calidad por usos del recurso hídrico en la bahía como complemento al proceso de ordenamiento en el río Dagua, ya que la Bahía de Buenaventura hace parte integral de su cuenca baja y recibe múltiples presiones provenientes de la población y carga

contaminante de las actividades antrópicas, que disponen de forma inadecuada sus aguas residuales sin previo tratamiento sobre la costa Pacífica colombiana.

En este sentido y con el presente documento técnico en el que se plantean los enfoques y aspectos conceptuales en función de los usos del agua, ecosistemas marino-costeros, parámetros, valores de referencia y los resultados obtenidos en la modelación bajo diferentes escenarios en la Bahía de Buenaventura y que servirá de soporte al acto administrativo a través del cual se fijarán los objetivos de calidad de agua en la Bahía de Buenaventura, la CVC da cumplimiento a la Resolución No. 2145 de 2005.

1 OBJETIVO

Definir los objetivos de calidad por usos del recurso hídrico en la Bahía de Buenaventura.

Objetivos específicos

- Presentar información sobre el estado actual de la calidad Bahía de Buenaventura.
- Mostrar una síntesis de los resultados del modelo de simulación mediante escenarios para la propuesta de objetivos de calidad y de identificación de parámetros críticos de calidad desarrollados dentro del proyecto de modelación de la calidad de la Bahía de Buenaventura, suscrito con INVEMAR.
- Proponer los objetivos de calidad de acuerdo con los usos del agua a corto, mediano y largo plazo.

2. ANTECEDENTES

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, estableció dentro de los instrumentos de gestión de los vertimientos para los municipios los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, los cuales deben ser formulados por las Personas Prestadoras de los servicios de alcantarillado de acuerdo con lo establecido en la Resolución 1433 de 2004 y con base en los objetivos de calidad de los cuerpos de agua que deben ser fijados por las Autoridades Ambientales a la luz de lo estipulado en la Resolución No. 2145 de 2005.

La CVC inicialmente realizó la evaluación de la calidad del agua del río Cauca, sus tributarios y de los vertimientos generados en el tramo correspondiente al Valle del Cauca, con base en el ejercicio prospectivo, se establecieron los objetivos de calidad para el río Cauca en su área de jurisdicción, mediante la Resolución No 0686 de 2006, cuenca que comprende 35 cuencas tributarias y en la que se encuentran asentados 33 de los 42 municipios del Valle del Cauca.

En la cuenca del río Dagua, la CVC realizó el inventario de usuarios de vertimiento en la cuenca hidrográfica, estableció una red de monitoreo de la calidad para evaluar los impactos por los vertimientos generados y con base en esto, estableció los objetivos de calidad de agua para los ríos priorizados de la cuenca mediante la Resolución 0100 No. 0660-0076 de 2014.

En la cuenca del río Garrapatas, en los cuales se encuentran asentadas 4 cabeceras municipales y adicionalmente otros centros poblados de jurisdicción de los municipios de Bolívar y Roldanillo, se instauró una red de monitoreo que permitiese evaluar el estado de la calidad del agua, se realizó la identificación de las principales fuentes aportantes de vertimientos y se identificaron los usos del agua actuales y potenciales, este trabajo tuvo como referente el trabajo realizado por el

consultor ingeniero Ricardo Imery contratado por la CVC mediante Contrato No. 737 de 2009, y los criterios de calidad para los usos del agua establecidos en el Decreto 1076 de 2015.

Para establecer los objetivos de calidad para la Bahía de Buenaventura por usos y por quinquenios se llevaron a cabo los muestreos de variables oceanográficas y de calidad de aguas

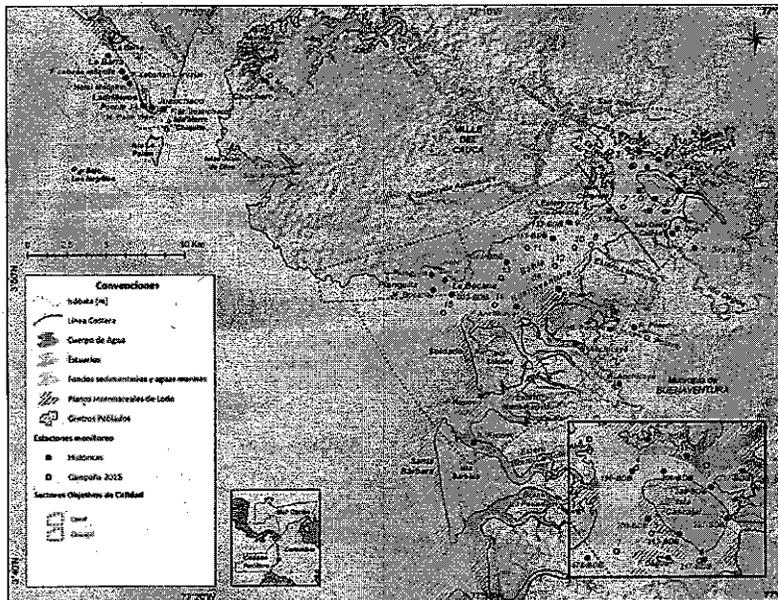


Ilustración 1. Localización y ubicación de las estaciones en la Bahía de Buenaventura-Isla Cascajal.

El área definida para desarrollar la propuesta de objetivos contempló la delimitación de dos (2) sectores de acuerdo a características de la zona, los usos actuales identificados en la Bahía de Buenaventura departamento del Valle del Cauca.

Sector Cascajal: corresponde a la zona más interna de la Bahía de Buenaventura, teniendo como centro la isla Cascajal, los esteros Aguacate y Gamboa al norte, y al sur el río Dagua y parte de la Isla Cangrejo, que ayuda a estrechar la sección hidráulica en esta zona.

Sector Canal: limita con el sector cascajal al norte ocupando todo el centro de la bahía de Buenaventura incluyendo los esteros Limoncito y Santa Delicia, los ríos Potedó, Anchicayá y Raposo, hasta llegar a la parte externa de la Bahía.

3. METODOLOGÍA

3.1 Trabajo de Campo

En los meses de mayo (4 al 7) y agosto (10 al 13) de 2015 se llevaron a cabo los muestreos de variables oceanográficas y de calidad de aguas por parte de INVEMAR con el acompañamiento de la CVC para monitorear 15 estaciones en la Bahía de Buenaventura (Tabla 1), donde se midieron *in situ* los parámetros (salinidad, temperatura, pH, porcentaje de saturación de oxígeno y oxígeno disuelto) y corrientes, además se tomaron muestras de agua para análisis en el laboratorio de nutrientes (N-NO₂, N-NO₃ y P-PO₄³⁻), hidrocarburos, sólidos suspendidos totales y turbiedad en las condiciones de marea alta y baja, así como en flujo y reflujos y CVC realizó los análisis microbiológicos (E. coli., coliformes totales y termotolerantes y DBO₅) al sector Cascajal y Canal.

Tabla 1. Estaciones de muestreo ubicadas en la Bahía de Buenaventura

NÚMERO ESTACIÓN	NOMBRE ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD (M)
01	E. Aguacate-Gamboa	3°53'51.24"N	77°03'42.80"O	10,0

02	Puente El Piñal	3°52'57.60"N	77°03'19.90"O	4,0
03	Estero Aguadulce	3°54'18.20"N	77°05'43.20"O	6,2
04	Boca Aguadulce	3°53'48.70"N	77°04'55.00"O	15,0
05	Cascajal Sur	3°52'41.40"N	77°04'39.70"O	3,4
06	Río Dagua	3°52'13.30"N	77°03'50.60"O	3,1
07	Canal Norte	3°52'23.16"N	77°05'15.90"O	12,0
08	Río Limones	3°51'05.80"N	77°06'22.90"O	12,5
09	Isla Cangrejo	3°51'51.20"N	77°07'06.80"O	3,5
10	Canal Centro	3°51'00.54"N	77°06'57.12"O	10,1
11	Piedra-Piedra	3°51'00.10"N	77°08'34.20"O	6,0
12	Río Potedó	3°50'22.20"N	77°07'37.10"O	5,5
13	Canal Sur	3°49'58.44"N	77°09'29.16"O	11,1
14	Río Anchicayá	3°49'03.50"N	77°09'43.30"O	4,7
15	Externo	3°48'48.12"N	77°11'29.76"O	14,6

3.2 Procesamiento y Análisis de información

Para elaborar el perfil del estado actual de calidad de los sectores Cascajal y Canal a los datos se les aplicó estadística descriptiva, y adicionalmente se analizaron con el software Ocean Data View (ODV) para visualizar los resultados de manera geográfica teniendo en cuenta las épocas climáticas (altas y bajas precipitaciones) y las variaciones durante el flujo y reflujo de la marea, ya que este software permite mostrar la trayectoria de secuencia por diagramas de dispersión para conjuntos de estaciones (Schlitzer, 2015).

Para complementar el perfil de calidad actual se utilizó el índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras para el uso de preservación de fauna y flora – ICAM_{PFF} y con un enfoque marino, con fin de representar de manera sencilla la calidad de aguas en la bahía de Buenaventura, considerando las épocas climáticas y dos instantes de marea flujo y reflujo.

Para estimar el rango de valores probables y definir los objetivos de calidad en cada escenario modelado de acuerdo a los usos del agua identificados en la bahía de Buenaventura, se tomó como insumo y referencia las siguientes herramientas:

- La extensa revisión de valores de referencia, criterios de calidad o límites permisibles en normas o guías nacionales e internacionales, sobre todo para definir los criterios de los parámetros que no se modelaron y que no se encuentran en la normativa colombiana para todos los usos.
- El análisis estadístico descriptivo de los datos históricos y de las campañas de muestreo realizadas en 2015 como referencia del comportamiento característico de la zona de estudio.
- La modelación de calidad del agua de los escenarios para la bahía de Buenaventura en diferentes horizontes de tiempo para Coliformes y Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Finalmente, se consideraron algunos aspectos de la Guía para el establecimiento de los objetivos de calidad del recurso hídrico - MESOCA, teniendo en cuenta que esta aplicación estará orientada a aguas marinas. Se utilizaron las tablas que permiten visualizar el perfil de calidad, usos reales, potenciales y preponderantes del cuerpo de agua, para adoptar estándares de calidad del recurso hídrico en el área de estudio. Estas tablas se elaboraron de acuerdo a los usos del agua por sectores con sus respectivos parámetros y criterios de calidad establecidos en la normatividad nacional e internacional revisada y los usos establecidos en el decreto 3930 (contenido en el Decreto 1076 de 2015) y los usos identificados aplicables a este estudio, que son: usos *reales*

preponderantes (Preservación de Flora y Fauna, Recreativo, Pesca, Maricultura y Acuicultura, Navegación y Transporte y Estético) y como *uso potencial preponderante* (Preservación de Flora y Fauna).

4. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL CALIDAD DE LA BAHÍA

En la bahía de Buenaventura el régimen de mareas y el volumen de mezcla define la variabilidad de las concentraciones de las sustancias, al generarse una zona de mezcla durante la marea alta, con el aporte de 12 tributarios entre ríos, brazos y esteros sobre la bahía.

El resumen estadístico de las variables temperatura (TEM), pH, oxígeno disuelto (OD), salinidad (SAL), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), coliformes totales (CTT) y termotolerantes como la E. coli (CTE), sólidos suspendidos totales (SST), turbiedad (TURB), nitratos (NO₃⁻), nitritos (NO₂⁻), fosfatos (PO₄³⁻) e hidrocarburos de petróleo (HAT) medidas en el 2015 y en los dos sectores de estudio se presentan en la Tabla 2 y Tabla 3. Cabe destacar que en la bahía de Buenaventura los datos fueron medidos en condiciones de flujo y reflujo mareal.

Tabla 2. Estadística descriptiva de variables de calidad del agua superficial medidas en estaciones del sector Canal

Sector	ESTADÍSTICO	TEM	pH	OD	SAL	DBO	CTT	CTE	SST	TURB	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄ ³⁻	HAT
Canal	n	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	Media	29,39		5,86	21,87	1,17	24212,81	3238,88	31,85	11,36	11,36	17,39	13,45	0,41
	D.E.	0,83	0,36	1	2,53	0,48	63233,01	12097,2	24,98	7,72	8,83	14,95	36,48	0,44
	Mín	27,8	7,54	2,79	16,2	0,45	150	11	3,56	3,6	2,2	1,1	1,2	0,08
	Máx	31,5	8,88	7,86	27,1	2,37	240000	66000	74	36	32	54,4	191	2,12
	Mediana	29,4	7,96	5,88	21,7	1,18	1750	165	35,72	7,65	7,05	15,6	4,65	0,24
	Q1	28,6	7,85	5,18	20,3	0,96	660	73	6,08	6	5,5	4	3,4	0,18
	Q3	29,9	8,33	6,5	23,8	1,41	4300	250	55,8	16	14	25,2	5,4	0,4
	P(05)	28,3	7,66	4,79	18,2	0,45	150	11	3,93	3,9	3,5	1,1	1,2	0,1
	P(10)	28,4	7,7	4,95	18,7	0,45	230	21	4,85	4,9	4,9	1,1	2,6	0,16
	P(25)	28,6	7,85	5,18	20,3	0,96	660	73	6,08	6	5,5	4	3,4	0,18
	P(50)	29,4	7,96	5,83	21,7	1,17	1700	150	35,4	7	7	12,3	4,6	0,23
	P(75)	29,9	8,33	6,5	23,8	1,41	4300	250	55,8	16	14	25,2	5,4	0,4
	P(90)	30,3	8,59	6,88	24,9	1,61	66000	1000	66,2	19	28,3	41,4	6,9	0,73
	P(95)	30,6	8,77	7,68	26,7	2,08	240000	17000	72,2	30	29,1	46,7	98,2	1,4

Tabla 3. Estadística descriptiva de variables de calidad del agua superficial medidas en estaciones del sector Cascajal

Sector	Estadístico	TEM	pH	OD	SAL	DBO	CTT	CTE	SST	TURB	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄ ³⁻	HAT
Cascajal	n	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	Media	29,1		5,41	17,28	1,09	23707,14	1133,71	20,24	6,84	14,43	26,35	5,81	0,61
	D.E.	0,73	0,24	0,84	2,05	0,44	45834,25	2807,39	16,23	3,35	9,86	23,34	4,22	0,53
	Mín	27,9	7,2	3,54	12,8	0,45	1500	36	3,08	3,1	4	1,1	1,2	0,08
	Máx	30,4	8,17	7,15	20,1	1,9	240000	15000	51,4	16	34,4	88,2	21,4	2,3
	Mediana	29,15	7,59	5,35	17,85	1,15	8950	355	17,78	6	11,85	25,9	5,1	0,48
	Q1	28,4	7,46	4,76	15,5	0,45	4900	150	4,4	4,4	5	5,3	3,8	0,23
	Q3	29,6	7,69	5,86	19	1,35	24000	930	33,8	7	22,2	37,7	6,3	0,61
	P(05)	27,9	7,2	4,21	13,3	0,45	2400	52	4,14	4,1	4,1	1,1	1,2	0,12
	P(10)	28	7,29	4,4	14,2	0,45	2400	91	4,21	4,2	4,6	1,1	1,2	0,17
	P(25)	28,4	7,46	4,76	15,5	0,45	4900	150	4,4	4,4	5	5,3	3,8	0,23
	P(50)	29,1	7,57	5,33	17,7	1,14	8600	350	7,16	6	8,7	25,8	5	0,45
	P(75)	29,6	7,69	5,86	19	1,35	24000	930	33,8	7	22,2	37,7	6,3	0,61
	P(90)	30,1	8,01	6,53	19,6	1,64	58000	2100	39	14	28,1	67	9,6	1,58
	P(95)	30,3	8,12	7,02	19,8	1,8	66000	2800	40,6	15	30,3	68,6	16,3	1,9

4.1 Temperatura

La temperatura superficial del agua de la bahía de Buenaventura durante el mes de mayo osciló entre 29,1 y 31,5 °C en ambos instantes de marea y se encontró un patrón general de temperatura (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). Durante el flujo de marea la temperatura se conservó en la mayor parte de la bahía en los 29,9 °C a excepción de la (estación 9) que presentó el pico más alto. En la condición de reflujo la temperatura del agua también se mantuvo en 29,4 °C desde el interior, con la mayor variación en las estaciones 11 y 13 acercándose a la salida de la bahía.

Para el mes de agosto la temperatura superficial del agua de la bahía descendió un poco entre 27,8 y 30,4 °C, a diferencia del mes mayo no se encontró un patrón general en ambos instantes de marea. Durante el flujo se observa que las estaciones (14,12 y 6) ubicadas frente a la desembocadura de los ríos Anchicayá, Potedó y Dagua respectivamente presentaron los focos de mayor temperatura con 29,7 °C aproximadamente y en reflujo la mayor temperatura se registró en la estación 4 localizada frente a la desembocadura del Estero Aguadulce con 30,4 °C.

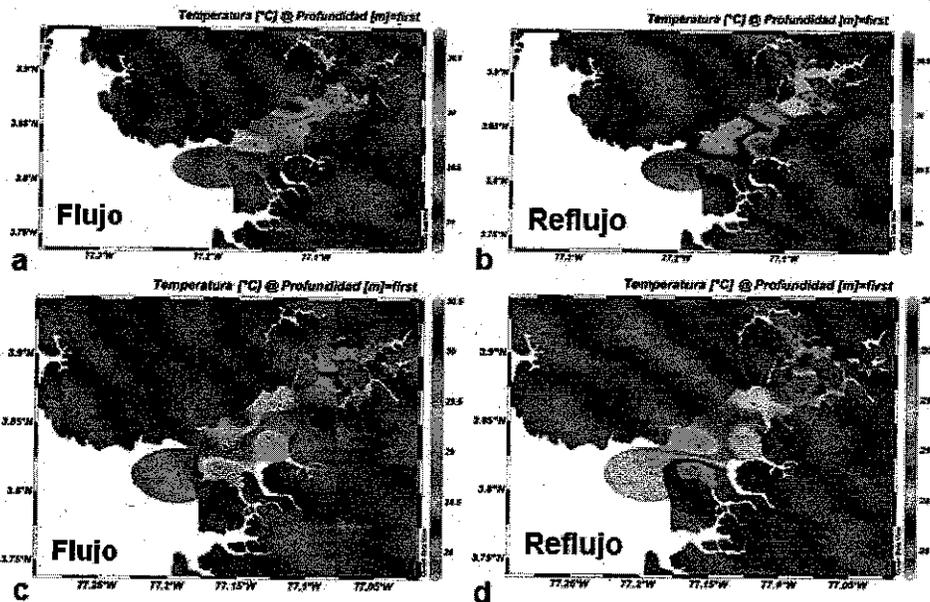


Ilustración 2. Variación de la Temperatura superficial del agua en la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

4.2 Salinidad

La salinidad presentó patrones similares para ambas condiciones de marea durante la campaña de mayo (bajas precipitaciones), con los mayores valores de salinidad en la entrada del mar a la bahía (estación 12) y las menores al interior (estación 6), debido a los aportes continentales de los ríos en la parte interna de la bahía, que disminuyen la salinidad de forma gradual tanto en flujo como en reflujo.

En agosto (época de altas precipitaciones) el comportamiento de la salinidad fue similar al de mayo, destacándose en el flujo de marea un gradiente más definido con la tendencia a disminuir gradualmente la salinidad desde la parte oceánica hacia la parte interna de la bahía (Ilustración 3).

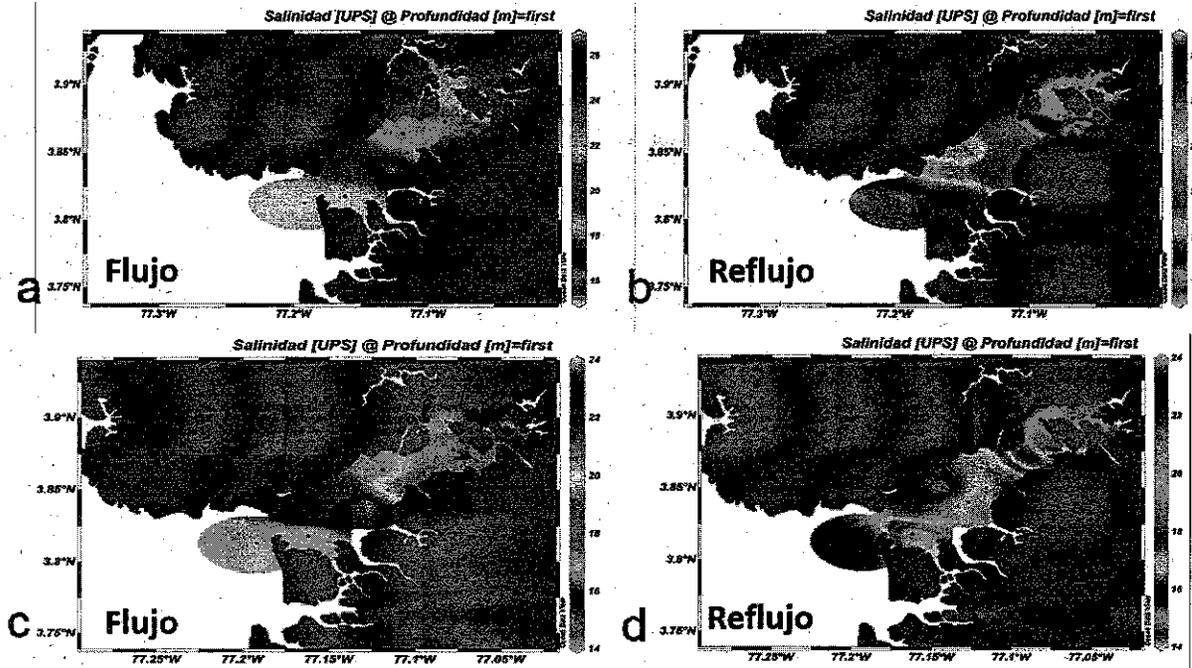


Ilustración 3. Variación de la Salinidad superficial del agua en la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

4.3 pH

Los valores de pH en la bahía de Buenaventura para el período de bajas precipitaciones (mayo) oscilaron entre 7,20 y 8,88 durante el flujo y reflujo de la marea. En el flujo de marea se ve claramente la entrada de aguas más básicas en la parte externa de la bahía (8,77) y que se van ligeramente acidificando a medida que van entrando a la bahía (7,2).

Entre tanto, en agosto (altas precipitaciones) los valores de pH en la bahía de Buenaventura estuvieron entre 7,29 y 8,12 durante el flujo y reflujo de la marea. Durante el flujo mareal se observó disminución del gradiente de pH desde la parte externa entrando con 8,12 y hasta llegar a 7,36 en la parte interna de la bahía. En reflujo el pH del agua no mostró un patrón definido, sin embargo en las estaciones de la parte media de la bahía alcanzó su máximo valor con 8,02 y el mínimo en la estación 1 con 7,29 entre los esteros Aguacate y Gamboa (Ilustración 4).

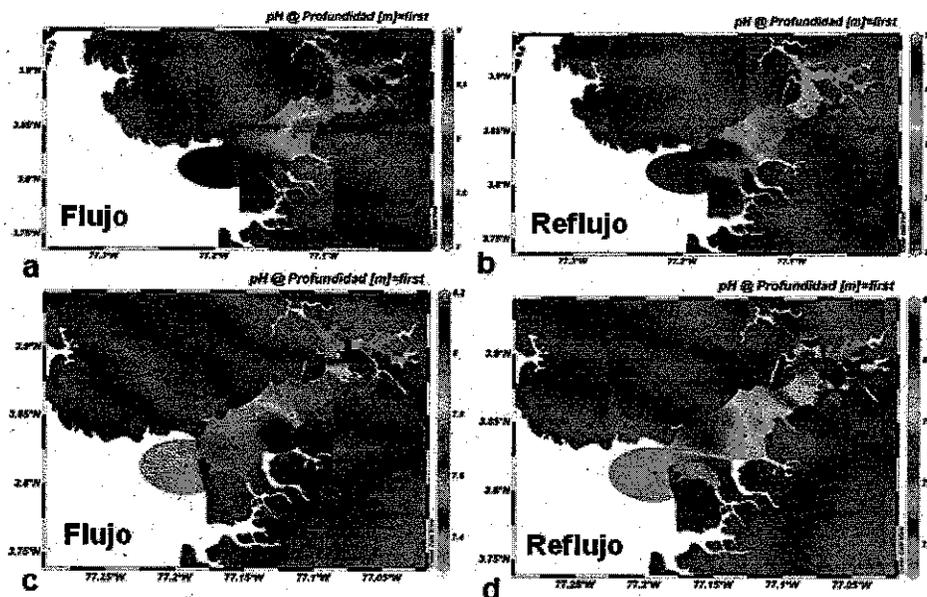


Ilustración 4. Variación del pH superficial del agua en la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

4.4. Turbidez

La turbidez varió entre 0.7 y 36.0 NTU con promedios de 11.36 ± 7.72 y 6.84 ± 3.35 para la Bahía y Cascajal, estos sectores se encuentran influenciados por las desembocaduras de los ríos Dagua, Anchicayá, Raposo y Potedó que traen consigo material particulado que afecta la turbidez de estas aguas.

4.5 Oxígeno disuelto (OD)

La concentración de oxígeno disuelto en el agua varió entre 2.79 y 7.86 mg/L, con algunos valores que superaron los 7.5 mg/L correspondiente a aguas sobresaturadas (>100 %), producidas principalmente por el viento y la turbulencia de las olas (acciones físicas) y obedecen a un comportamiento normal de intercambio gaseoso entre la atmósfera y el medio acuático (EPA, 1985).

En el mes de mayo durante el flujo los valores de OD oscilaron entre 3,54 mg/L (estación 2) y 6,20 mg/L (Estación 10), mientras que en reflujo el máximo valor se observó en la estación 13 (6,06 mg/L) y el mínimo en la estación 6 (4,21 mg/L), mostrando un gradiente de aumento desde la parte interna de la bahía hacia el exterior de esta.

En agosto el OD osciló entre 4,88 mg/L (Estación 1) y 7,86 mg/L (Estación 12). Cabe resaltar que, durante el flujo mareal el oxígeno disuelto se mantuvo en 6,5 mg/L en la mayoría de estaciones del canal, excepto en las estaciones 12 (7,86 mg/L) y 10 (7,68 mg/L) que corresponden a la desembocadura del río Potedó y el estero Limones, respectivamente; y los mínimos se presentaron (3,4 y 5 mg/L) cerca a la isla Cascajal. Para reflujo el máximo valor se observó en la estación 13 con 7,24 mg/L con influencia marina y el mínimo se observó en la estación 1 entre los esteros Aguacate y Gamboa con 4,88 mg/L (Ilustración 5).

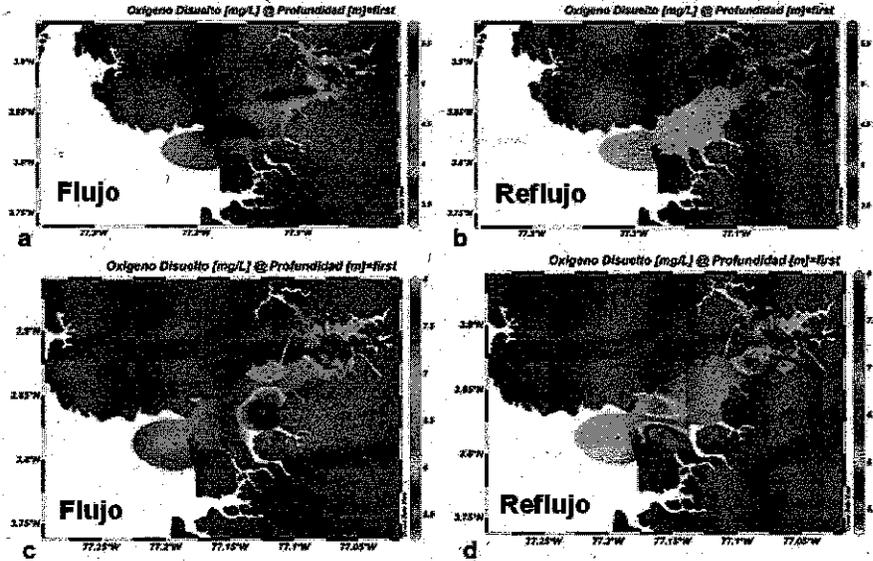


Ilustración 5. Variación de oxígeno disuelto (mg/L) superficial del agua medido en la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujó (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujó (d).

4.6. Sólidos Suspendidos Totales - SST

Los sólidos suspendidos totales oscilaron entre 28,4 mg/L y 74 mg/L. En mayo el flujo de marea presentó los valores más altos en la estación 15, ubicada en la parte externa de la bahía (74 mg/L), en el sector Canal, debido a la entrada del oleaje y la acción de la mareal que produce resuspensión de los sedimentos. Mientras que en reflujó el valor más elevado se registró en la estación 12 ubicada frente al río Potedó (72,2 mg/L).

En agosto disminuyeron los sólidos suspendidos totales oscilando entre 3,08 mg/L y 36,03 mg/L, sin embargo el comportamiento entre estaciones fue similar a mayo, con el valor más alto en la estación 15 durante el flujo de marea (36,03 mg/L), y para el reflujó el valor más elevado se registró en la estación 11 Piedra-Piedra con 9,13 mg/L (Ilustración 6).

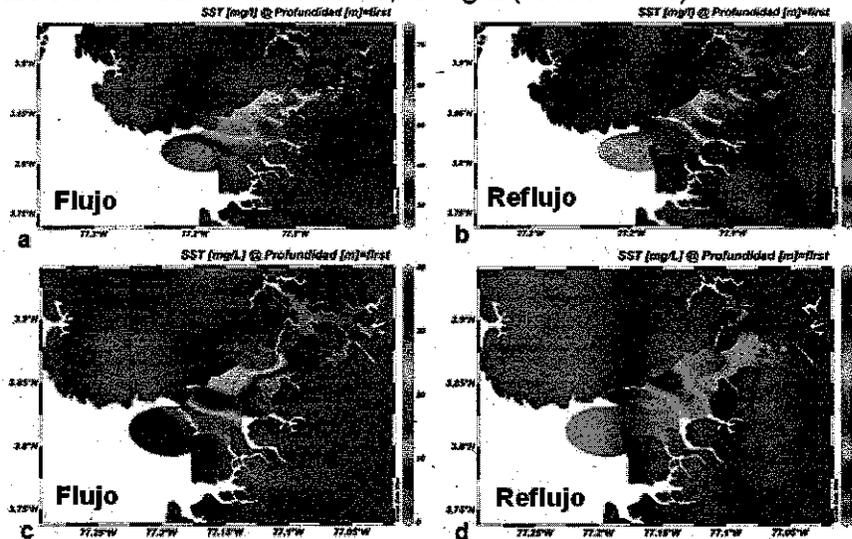


Ilustración 6. Variación de sólidos suspendidos totales (mg/L) superficial del agua medidos en la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujó (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujó

4.7. Nutrientes inorgánicos disueltos

Las concentraciones de nitritos ($N - NO_2^-$) en mayo oscilaron entre 4,0 y 8,7 $\mu\text{g/L}$ durante el flujo y 3,5 $\mu\text{g/L}$ y 8,0 $\mu\text{g/L}$ en reflujos, con los mayores valores en la estación 2 del puente el piñal y la 11 Piedra-Piedra durante la condición del flujo de marea mostrando alta variabilidad en toda la bahía. En el reflujos los nitritos mostraron uniformidad en la zona interna y externa de la bahía en un rango de 4 y 6 $\mu\text{g/L}$, excepto en la estación 11 Piedra-Piedra (8 $\mu\text{g/L}$) y Anchicayá (14 $\mu\text{g/L}$).

En agosto (altas precipitaciones) las concentraciones de nitritos ($N- NO_2^-$) aumentaron con respecto a mayo con concentraciones que oscilaron entre 2,2 $\mu\text{g/L}$ (Estación 2) y 34,4 $\mu\text{g/L}$ (Estación 5) para flujo y entre 7 $\mu\text{g/L}$ (Estación 14) y 30,3 $\mu\text{g/L}$ (Estación 3) en reflujos. Cabe resaltar que para ambos instantes de marea se observa un gradiente con tendencia a aumentar en las aproximaciones de la isla cascajal y la disminución hacia la parte externa de la bahía (Ilustración 7).

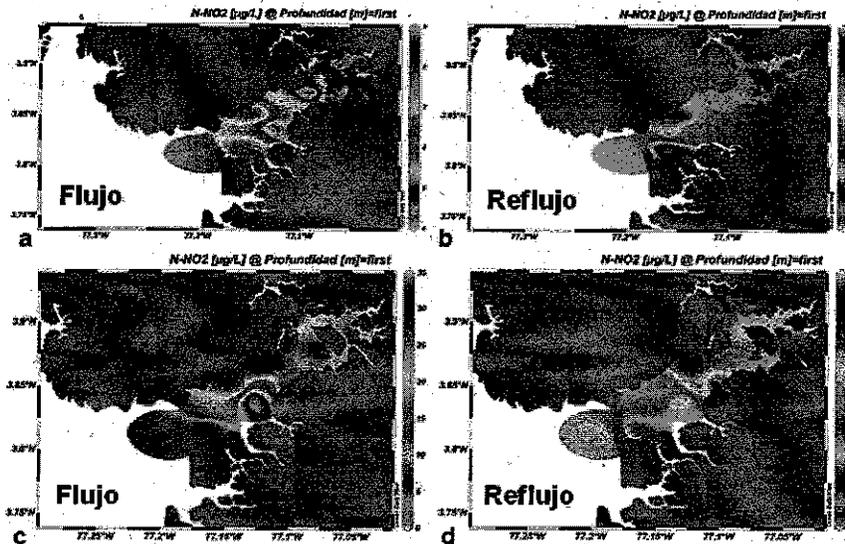


Ilustración 7. Variación de nitritos medidos en el agua superficial de la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujos (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujos (d).

La Ilustración 8 (a y b) muestra el comportamiento del nitrato inorgánico disuelto ($N - NO_3^-$) en mayo (época de bajas precipitaciones), el cual osciló entre 12,1 $\mu\text{g/L}$ y 88,2 $\mu\text{g/L}$ en flujo de marea y entre 12,3 $\mu\text{g/L}$ y 68,6 $\mu\text{g/L}$ en reflujos. Se presentó una alta variabilidad de los nitratos en ambos instantes de marea, donde la máxima concentración se presentó durante el flujo en la estación 5 en el sector Cascajal (88,2 $\mu\text{g/L}$), lo cual evidencia contaminación en este sector; mientras que el valor más bajo se observó en la estación 14 - río Anchicayá (12,1 $\mu\text{g/L}$). El comportamiento en condición de reflujos presentó la máxima concentración en la estación 3 Estero Aguadulce con 68,6 $\mu\text{g/L}$, lo cual indica el drenaje de descargas de aguas residuales domésticas, mientras que la menor concentración se obtuvo en la estación 15 ubicada en la parte externa de la bahía (12,3 $\mu\text{g/L}$).

Los valores de nitratos ($N- NO_3^-$) descendieron en agosto y oscilaron entre 1,1 $\mu\text{g/L}$ y 36,1 $\mu\text{g/L}$. En general el comportamiento de los nitratos mostró una amplia variación en toda la bahía sin seguir ningún tipo patrón definido, aunque si mostró diferencias entre flujo y reflujos mareales.

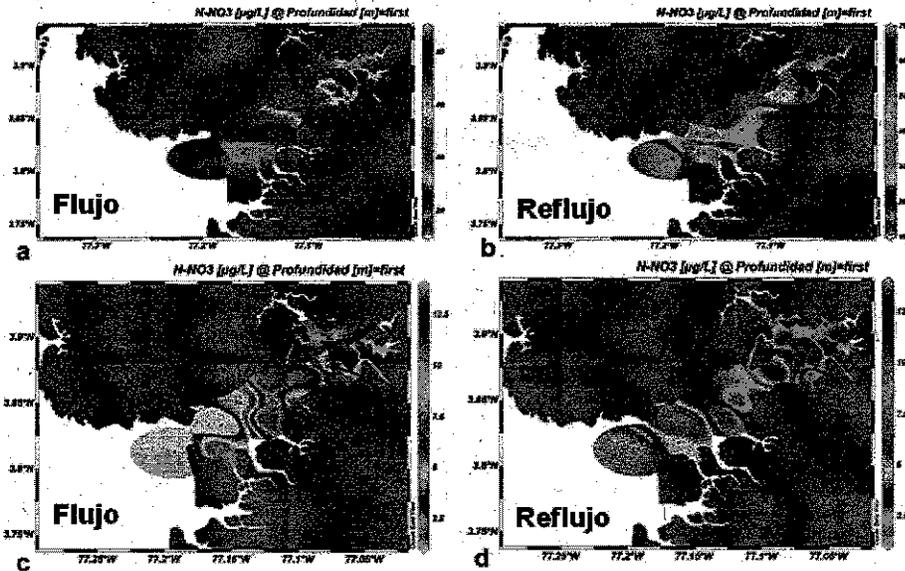


Ilustración 8. Variación de los nitratos medidos en el agua superficial de la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

Los fosfatos ($P- PO_4^{3-}$) mostraron un patrón de comportamiento uniforme para ambos instantes de marea (flujo y reflujo) y oscilaron entre 1,24 µg/L y 21,4 µg/L, sin embargo se observaron picos en condiciones de flujo en la estación 12 - río Potedó (98,2 4 µg/L) y en reflujo en la estación 13 - canal sur (191,1 4 µg/L), estos valores de fosfatos están asociados a los vertimientos de aguas residuales domésticas o escorrentías agrícolas que traen residuos de fertilizantes del suelo y productos de limpieza, lo cual podría causar eutrofización y florecimiento de algas.

En agosto los fosfatos disminuyeron ligeramente en comparación con el mes de mayo (1,2 µg/L y 18,9 µg/L), en condición de flujo el máximo valor se observó en la Estación 2 (16,3 µg/L), mientras que en reflujo en la estación 9 - Isla Cangrejo se presentó un valor de (18,9 µg/L), al igual que en los nitratos, los fosfatos no mostraron un patrón de comportamiento definido en los dos instantes de marea.

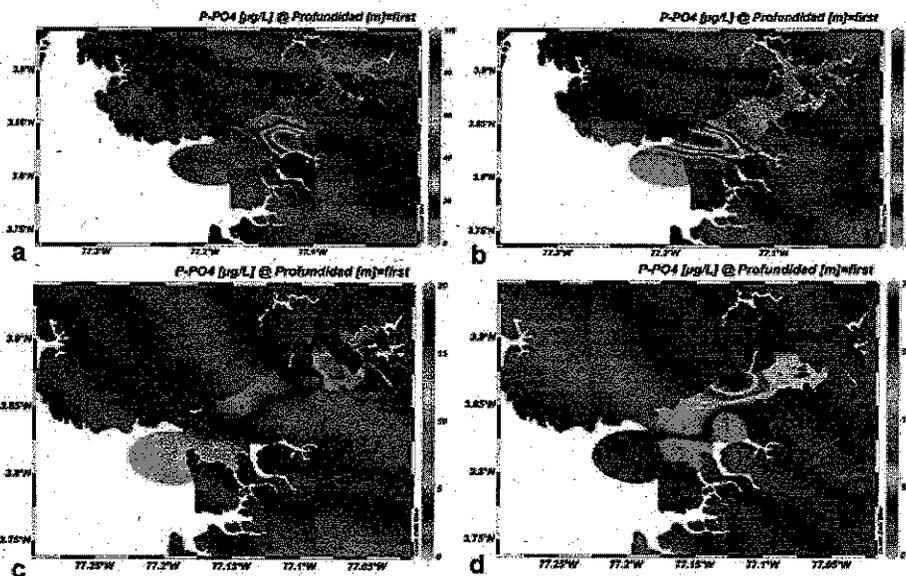


Ilustración 9. Variación de Fosfatos ($\mu\text{g/l}$) medidos en el agua superficial de la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

4.8 Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO_5

Los resultados de la DBO_5 en la bahía de Buenaventura se presentaron de forma diferenciada para los instantes de marea (flujo y reflujo). En la condición de flujo las concentraciones fueron menor al límite de detección de la técnica utilizada ($<0,954$ - LD) y $2,37$ mg/L y en reflujo oscilaron entre $<0,954$ y $1,59$ mg/L. A pesar de la variabilidad en la marea, el 97 % de las mediciones no superaron los 2 mg/L. En flujo el valor más alto se presentó en la estación 15 - parte externa de la bahía que está influenciada por el océano. En reflujo las mayores concentraciones se presentaron en los esteros Aguacate-Gamboa y la estación 15 - parte externa de la bahía con influencia oceánica, cabe destacar que las concentraciones son relativamente bajas.

En agosto (época de altas precipitaciones) la DBO_5 mostró comportamientos diferentes en función de la marea de flujo y reflujo. En flujo el valor máximo se presentó en la estación 10 ($2,08$ mg/L;), observándose un patrón uniforme en la mayor parte de la bahía con valores entre 1 y $1,5$ mg/L; y en reflujo el mayor valor se presentó en la estación 2 ($5,59$ mg/L) (Ilustración 10).

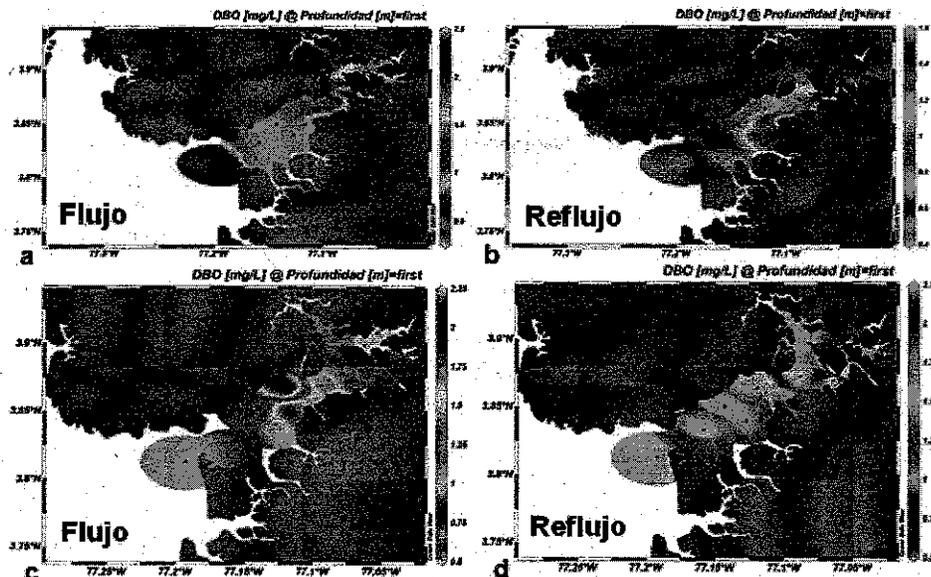


Ilustración 10. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO – mg/L) medida en el agua superficial de la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

Los valores más altos se encontraron en el sector de la Isla de Cascajal que recibe la descarga directa de las aguas residuales del municipio, además que en la época de altas precipitaciones, se incrementan los aportes del río Dagua. No obstante, la DBO₅ es relativamente baja, principalmente por el continuo cambio mareal, lo cual minimiza el efecto negativo de los vertimientos de materia orgánica (Kiely y Veza 2003).

4.9 Indicadores Microbiológicos

La calidad microbiológica de la bahía en el mes de mayo mostró que las concentraciones más altas de Coliformes Totales (CTT) se encontraron en flujo de marea, especialmente en las estaciones 7 (canal norte) y 9 (isla cangrejo) con valores de 240.000 NMP/100mL y la mejor calidad se obtuvo en las estaciones 13 (canal sur) y 14 (Río Anchicayá) que reciben la influencia marina. En general el patrón de comportamiento de esta variable fue uniforme, teniendo en cuenta que el 60 % de las estaciones presentaron concentraciones inferiores a 2.400 NMP/100mL de Coliformes Totales en toda la bahía, sin embargo el 40 % de estaciones superaron el límite para contacto secundario de la normatividad colombiana en ambas condiciones de marea (5000 NMP/100 mL, MinSalud, 1984).

En agosto (época de bajas precipitaciones) la concentración más alta de Coliformes Totales (CTT) se encontró en la estación 9 (240.000 NMP/100mL) y las más baja en la estación 15 (180 NMP/100mL), fueron similares a los resultados del mes de mayo. En general el patrón de comportamiento fue uniforme para flujo y reflujo, teniendo en cuenta que el 83 % de las estaciones presentaron concentraciones superiores a 2.000 NMP/100mL de Coliformes Totales en toda la bahía (Ilustración 11).

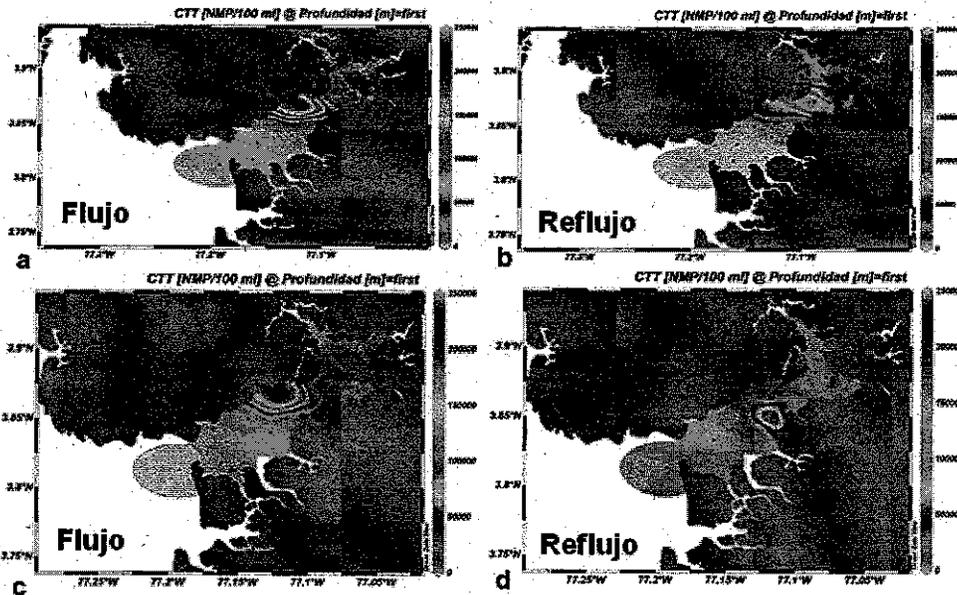


Ilustración 11. Variación de Coliformes Totales (CTT) medidos en el agua superficial de la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

Las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) más altas se presentaron en las estaciones 9 (isla cangrejo) con 66.000 NMP/100mL en ambas mareas de flujo y reflujo con una concentración de 15.000 NMP/100mL en las estaciones 9 y 2 (Puente piñal), observándose que en Isla Cangrejo las concentraciones permanecen altas, tanto en flujo y reflujo, debido al vertimiento de aguas residuales de la actividad porcícola. La bahía presentó en general un comportamiento uniforme en el 90 % de las estaciones, con concentraciones menores a 2.100 NMP/100mL, el 10 % restante con concentraciones mayores a 15.000 NMP/100mL, sobrepasando el valor permisible para contacto secundario según la normatividad colombiana (5000 NMP/100 mL).

Las concentraciones de *Escherichia Coli* fueron similares a los Coliformes Termotolerantes (CTE), debido a que *Escherichia* es el género predominante del grupo de bacterias de los CTE (Ashbolt *et al.*, 2001), y presentaron un comportamiento similar a CTE, 9 (isla cangrejo) y 2 (puente piñal) con valores de 14.000 NMP/100 mL y 12.000 NMP/100 mL, respectivamente en marea reflujo, lo que revela la influencia directa de la zona continental que drena vertimientos de aguas residuales municipales provenientes de estos sectores. Igualmente esta variable tuvo un patrón de comportamiento uniforme en el 90% de sus estaciones las concentraciones no sobrepasaron los 1.600 NMP/100 ml y el restante superó los 7.500 NMP/100 ml.

Como era de esperarse las concentraciones de *Escherichia Coli* durante el mes de agosto (altas precipitaciones) fueron ligeramente mayores a las obtenidas en mayo, presentándose el mayor valor en la estación 10 (Canal centro) con 17.000 NMP/100 mL durante el reflujo mareal. En esta temporada el 87 % de las estaciones estuvieron por debajo de 1000 NMP/100 mL E. Coli (Ilustración 12)

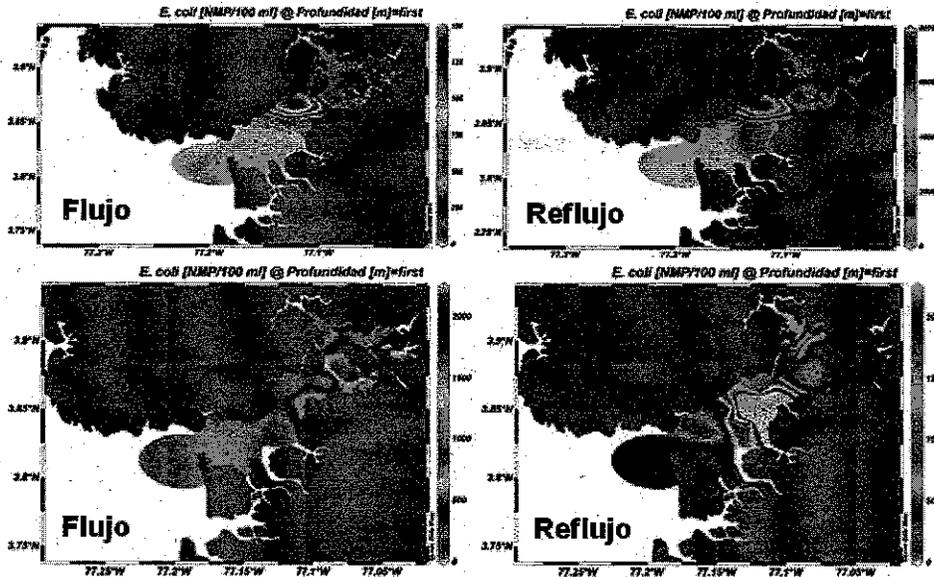


Ilustración 12. Variación de Escherichia Coli (NMP/100 mL) medida en el agua superficial de la Bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b) y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d)

Las concentraciones de Coliformes totales medidas en las aguas superficiales de la bahía de Buenaventura, oscilaron entre 150 – 240000 NMP/100 mL y las de Coliformes termotolerantes entre 11 – 66000 NMP /100 mL. Los valores más altos de Coliformes totales y termotolerantes se encontraron en la estación 9 (Frente a Isla Cangrejo) para ambas épocas climáticas en condición de reflujo (marea baja).

4.10 Hidrocarburos

A pesar de que los hidrocarburos (HAT) en la bahía de Buenaventura durante la época de bajas precipitaciones tuvieron comportamientos diferentes en el flujo y reflujo de la marea, todos los datos oscilaron entre menor al límite de detección de la técnica analítica (0,08 µg/L) y 1,90 µg/L, indicando la presencia de residuos de hidrocarburos en la zona, debido al tránsito de embarcaciones menores y de gran calado a lo largo de la bahía, sin embargo, no sobrepasaron la referencia de Unesco (<10 µg/L; 1984) para aguas contaminadas.

En agosto (época de altas precipitaciones) los HAT fueron superiores comparados con el mes de mayo, donde oscilaron entre 2,12y 2,30 µg/L, sin embargo, son valores bajos y el 93 % de las estaciones estuvieron por debajo de la referencia de Unesco, 1984. Los hidrocarburos no siguieron un patrón definido para los dos instantes de marea

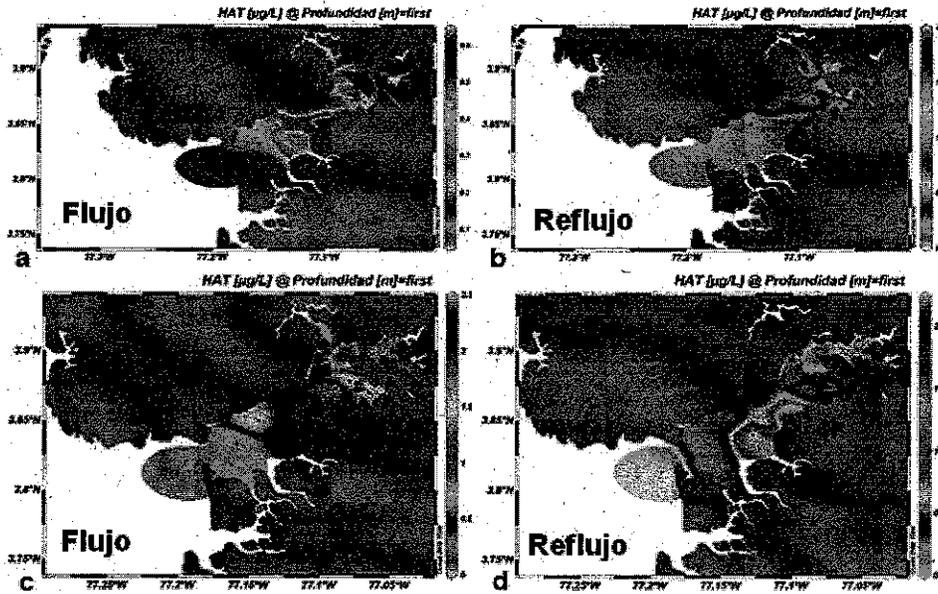


Ilustración 13. Variación de los Hidrocarburos en la Bahía de Buenaventura en época de altas precipitaciones. a. Hidrocarburos en flujo. b. Hidrocarburos en reflujo y altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d)

Utilizando el Índice de Calidad Ambiental Marina – ICAM se evaluaron de manera integral los cambios en la calidad del agua, teniendo en cuenta las dos épocas climáticas (altas y bajas precipitaciones) y las condiciones de reflujo y flujo de la marea en la bahía de Buenaventura (Ilustración 14, Ilustración 15, Ilustración 17, Ilustración 18). Los resultados del ICAM mostraron condiciones adecuadas e inadecuadas para el desarrollo de actividades recreativas y de preservación de flora y fauna, con valores que fluctuaron entre 37.5 y 86.8, demostrando así la variabilidad de las características del recurso hídrico de la bahía.

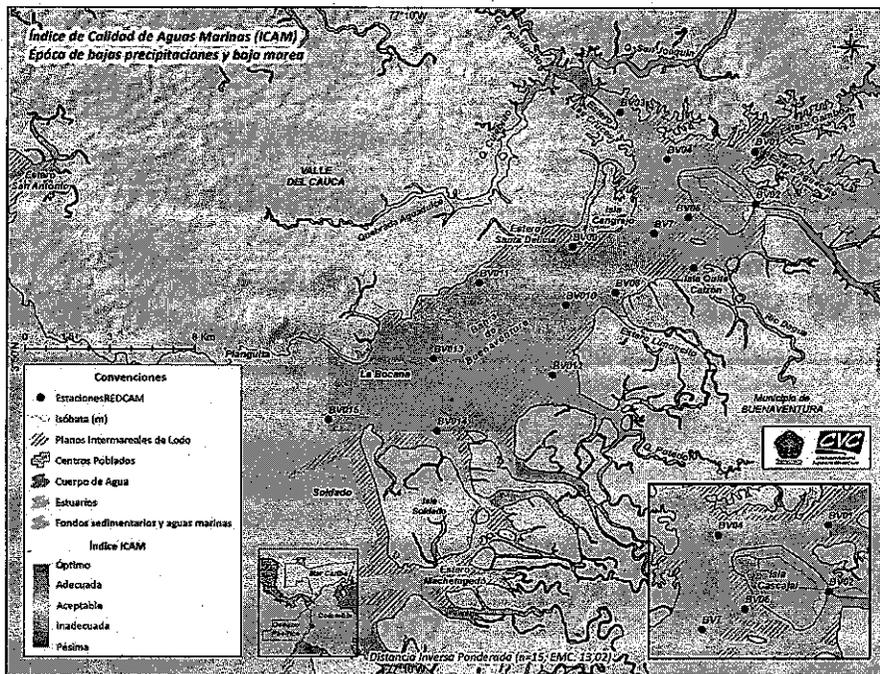


Ilustración 14. Índice de Calidad de Aguas Marinas (ICAM) en época de bajas precipitaciones y reflujo de marea (baja)

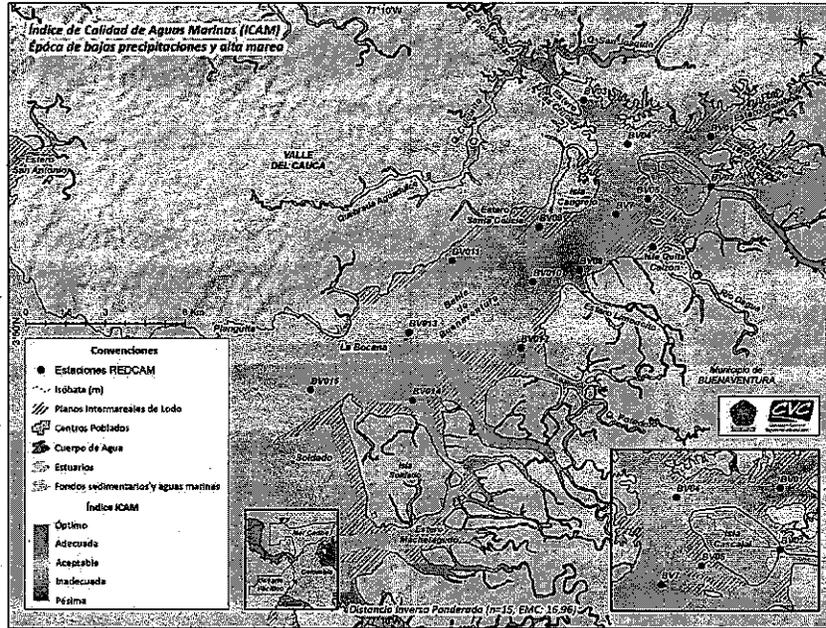


Ilustración 15. Índice de Calidad de Aguas Marinas (ICAM) en época de bajas precipitaciones y flujo de marea (alta).

Durante la época de bajas precipitaciones, la calidad del agua mostró mejor estado durante el flujo de marea (alta) Ilustración 15 en comparación con el estado del agua en reflujos (marea baja) Ilustración 14, donde se encontró una calidad inadecuada en las estaciones 9, 12 y 13 ubicadas en el sector del canal de acceso. En la estación 9 del canal de acceso se debe a la alta concentración de coliformes Termotolerantes (66000 NMP/100mL) que superó el criterio de calidad de la legislación colombiana para el uso del agua por contacto primario (CTE < 200 NMP/100 mL; MinSalud, 1984) y en las estaciones 12 y 13 a la alta concentración de fosfatos (98.2 y 191 µg/L respectivamente), producto de la descarga de aguas residuales en la bahía. La calidad inadecuada se presentó en las estaciones 2 y 5 (Isla Cascajal), debido a que en reflujos (marea baja) son más evidentes las descargas de aguas residuales por el sector de la Isla Cascajal y esteros a la bahía (Ilustración 16).

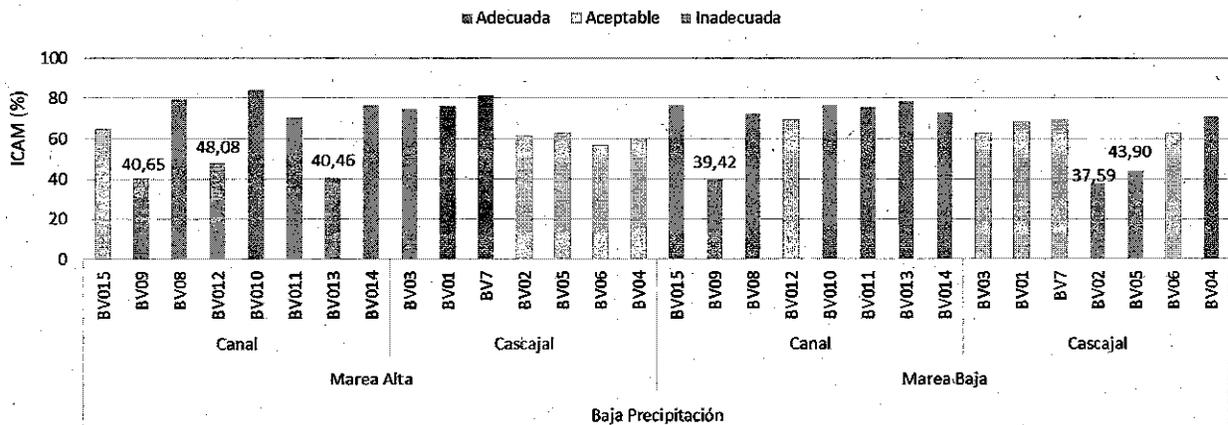


Ilustración 16. Calidad del agua en las estaciones de la bahía de Buenaventura en la época de bajas precipitaciones 2015 en flujo (marea alta) y reflujos (marea baja).

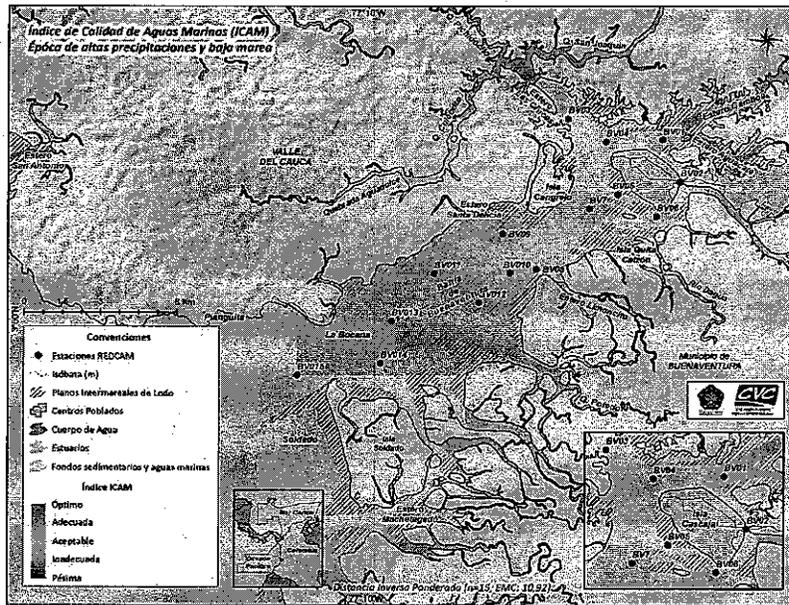


Ilustración 17. Índice de calidad de aguas marinas (ICAM) en época de altas precipitaciones y reflujos de marea (baja).

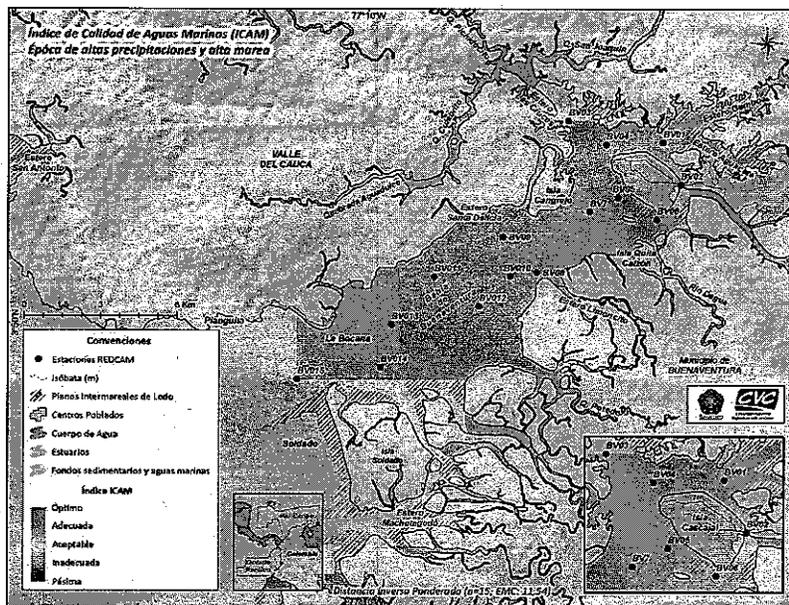


Ilustración 18. Índice de Calidad de Aguas Marinas (ICAM) en época de altas precipitaciones y flujo de marea (alta)

En la época de altas precipitaciones, el 93 % de las estaciones en flujo (marea alta) Ilustración 17 y el 73 % de las estaciones en reflujos (marea baja) Ilustración 18 presentaron calidad *adecuada*, sin embargo la estación 2 ubicada en el puente el Piñal presentó una calidad *inadecuada* en marea alta, debido a que los coliformes Termotolerantes superaron el criterio de calidad (930 NMP/100mL) y los nitratos fueron relativamente altos (46.8µg/L); la estación 10 ubicada en el canal de acceso igualmente registró una calidad *inadecuada*, debido a la alta concentración de CTE de 17000 NMP/100mL, lo cual se podría atribuir a las descargas de aguas servidas de las poblaciones cercanas

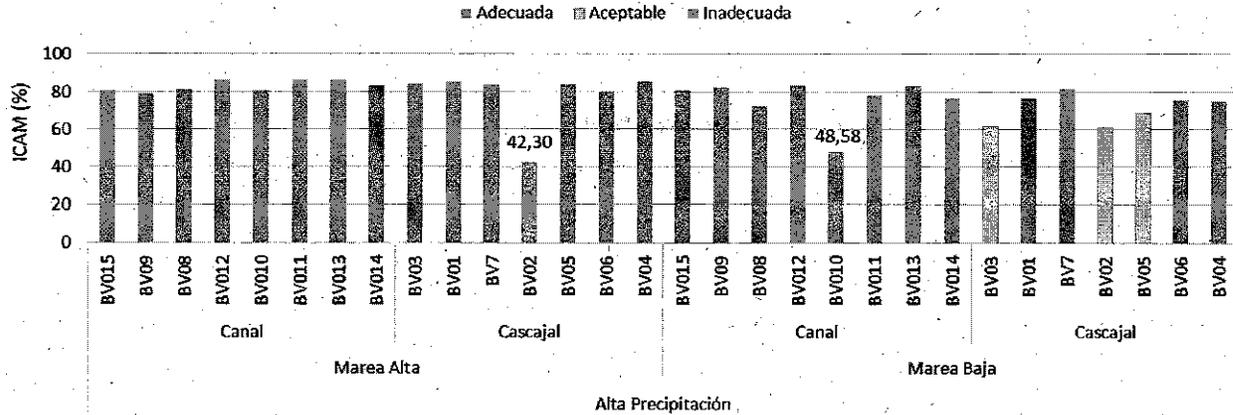


Ilustración 19. Calidad del agua en las estaciones de la bahía de Buenaventura en la época de altas precipitaciones 2015 en flujo (marea alta) y reflujó (marea baja).

5. REDUCCIONES PROPUESTAS Y CALIDAD ESPERADA EN LOS ESCENARIOS MODELADOS A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO

En la propuesta de objetivos de calidad se consideraron los escenarios simulados en la modelación de calidad de aguas concertados entre la CVC y el INVEMAR, con un horizonte en el corto (5 años), mediano (10 años) y largo plazo (20 años), proyecciones de población y de cargas contaminantes, producción de aguas residuales domésticas e industriales, aporte de ríos tributarios y diferentes niveles de tratamiento con porcentajes de remoción de carga vertida a la bahía de Buenaventura condicionadas en un contexto optimista y pesimista referente a la implementación de medidas para su mitigación como se muestran en la Tabla 4.

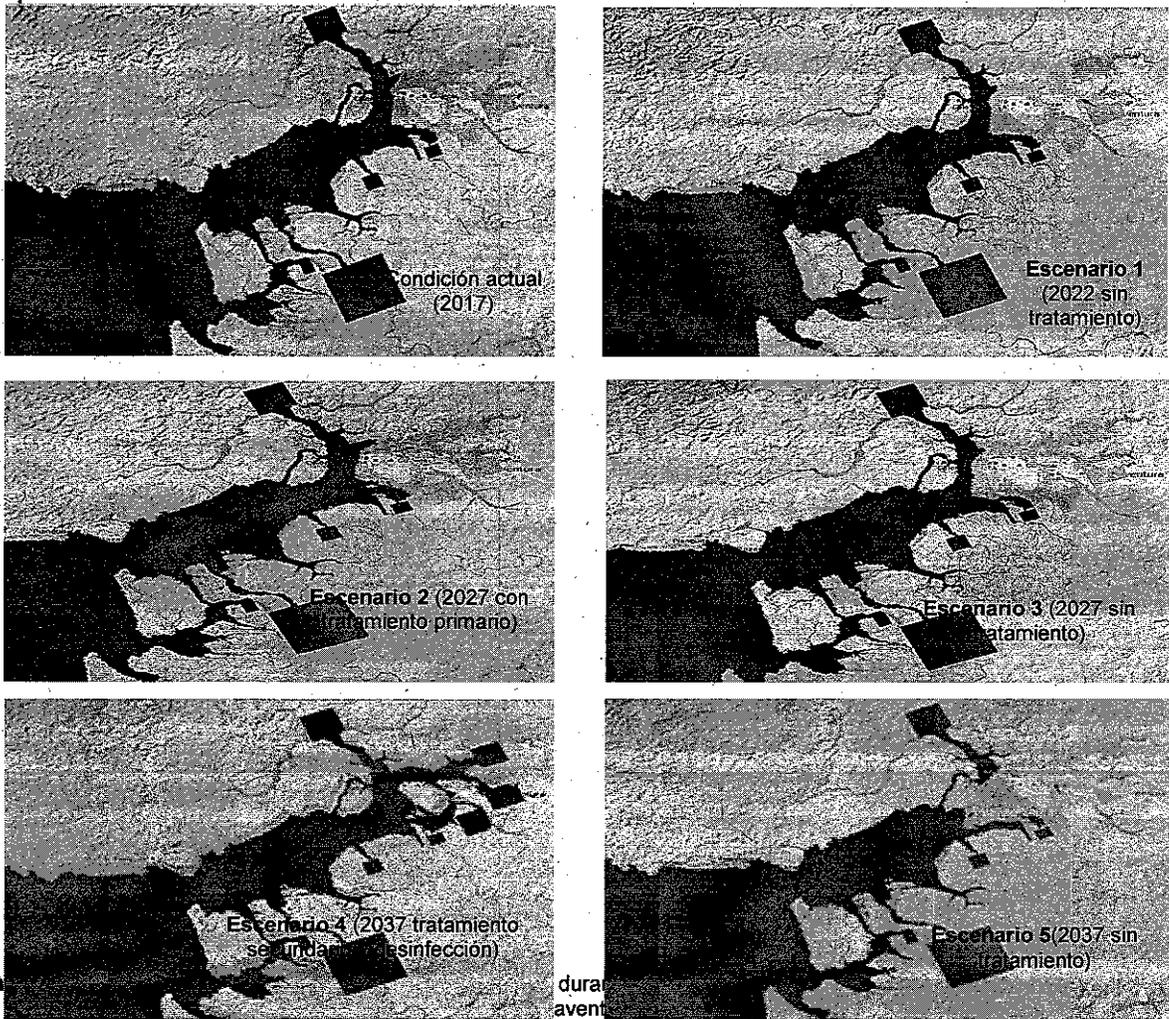
Los escenarios se modelaron con el software MOHID, el cual incluye herramientas para la aplicación del modelo hidrodinámico y de calidad de las aguas. El modelo implementado describe la circulación de las corrientes al interior de la bahía y simuló espacial y temporalmente los procesos de dispersión de coliformes Termotolerantes (CTE) y la demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (DBO₅), para la calibración del modelo se realizaron campañas de muestreo en dos épocas climáticas y en dos condiciones de marea (flujo y reflujó) para tomar de manera simultánea los datos de corrientes, temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, y las muestras de calidad de aguas que se midieron en laboratorio. Los resultados obtenidos con fines de pronóstico sirvieron de soporte y como criterio técnico-científico en la definición de los objetivos de calidad que se plantean para DBO₅ y Coliformes.

Tabla 4. Descripción de los Escenarios de Simulación.

ESCENARIO	TEMPORALIDAD	AÑO	MIRADA	TIPO DE TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO
1	Corto Plazo	2022	Pesimista	Sin Tratamiento	Proyección de la carga de la población al año 2022 (10.3%; 5 años) sin tratamiento y cálculos de producción de aguas residuales según metodología del PSMV (2005) más aportes industriales y ríos tributarios
2	Mediano Plazo	2027	Optimista	Tratamiento Primario (remoción 30%)	Implementación de un sistema de tratamiento primario (remoción 30%), con la proyección de la carga de la población al año 2027 (21.8%; 10 años) y cálculos de producción de aguas residuales según metodología del PSMV (2005) más aportes industriales con remoción del 30% y ríos tributarios
3	Mediano Plazo	2027	Pesimista	Sin Tratamiento	Proyección de la carga de la población al año 2027 (21.8%; 10 años), sin tratamiento y cálculos de producción de aguas residuales según metodología del PSMV (2005) más aportes industriales y ríos tributarios

4	Largo Plazo	2037	Optimista	Tratamiento Secundario (remoción 80%) más desinfección	Implementación de un sistema de tratamiento secundario (remoción 80%) más desinfección, con la proyección de la carga de la población al año 2037 (48.5%; 20 años) y cálculos de producción de aguas residuales según metodología del PSMV (2005) más aportes industriales con remoción del 80% y ríos tributarios
5	Largo Plazo	2037	Pesimista	Sin Tratamiento	Proyección de la carga de la población al año 2037 (48.5%; 20 años), sin tratamiento y cálculos de producción de aguas residuales según metodología del PSMV (2005) más aportes industriales y ríos tributarios

Al evaluar los resultados para la DBO₅ en las estaciones de monitoreo de la bahía de Buenaventura, se observó que en general la única forma de alcanzar una reducción significativa en los valores de la DBO₅, es considerando tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas e industriales vertidas a la bahía (Escenario 4, año 2037). Dicho tratamiento secundario consiste en un tratamiento físico (sedimentación primaria) seguido por un tratamiento biológico que podría ser aerobio o anaerobio y que permitiría durante el año 2037 mejorar la calidad del agua en la Bahía, al alcanzar porcentajes de remoción del 80% para la carga contaminante de DBO₅ (Ilustración 20). No obstante, de acuerdo a los datos históricos de DBO₅ que no superan los 3 mg/L, no se considera necesario un sistema de tratamiento de reducción para este parámetro.



Ilustración

dura
aven

En cuanto a los resultados para los CTE en los escenarios considerados, se observa que en general la única forma de alcanzar una reducción significativa en los valores de los CTE, es considerando el tratamiento de desinfección como complemento al tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas y no domésticas vertidas a la bahía (Escenario 4, año 2035). Dicho tratamiento de desinfección puede estar conformado por una doble barrera para evitar el crecimiento de CTE, mediante una desinfección con luz ultravioleta y después una posterior cloración, con lo cual se podría conseguir una remoción equivalente a 7 escalas logarítmicas para los CTE en los vertimientos de aguas residuales. En el caso de que no se plantee ningún tipo de tratamiento de las aguas residuales vertidas a la bahía, se presentará un deterioro significativo en la calidad del agua, representado por valores máximos de CTE (valores críticos de contaminación), alcanzando niveles en algunas estaciones superior al rango que clasifica el agua como de pésima calidad según el ICAM_{PFF} con enfoque marino (Ilustración 21).

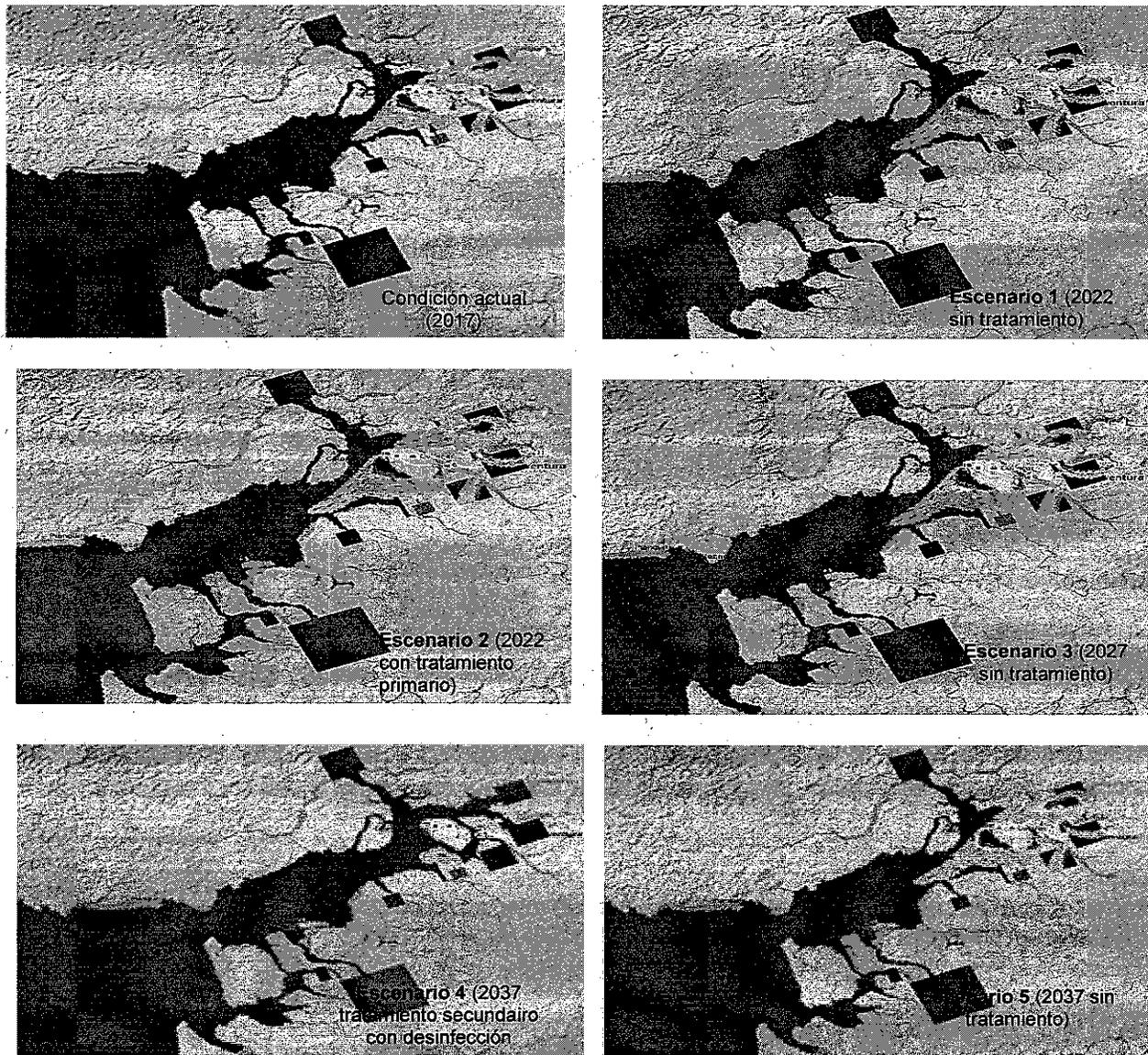


Ilustración 21. Variación espacial de la carga contaminante de Coliformes termotolerantes durante la bajamar para los diferentes escenarios evaluados en la Bahía de Buenaventura.

Adicionalmente, se realizó la proyección de los escenarios establecidos en la modelación para DBO₅ y Coliformes en los sectores Canal y Cascajal para los demás parámetros no modelados a partir de los tipos de tratamiento y con los porcentajes de remoción establecidos en el RAS 2000 (MinDesarrollo, 2000). Los parámetros se seleccionaron de acuerdo a los mínimos establecidos en la norma colombiana vigente y los identificados en la internacional contrastados con la disponibilidad de datos históricos de la zona, de acuerdo al uso potencial preponderante; *Protección de Flora y Fauna* para los sectores Cascajal y Canal.

Para completar la proyección de los escenarios se utilizó como referencia el escenario pesimista de los datos estadísticos actuales 2015 e históricos del sector cascajal y canal, dichos valores se emplearon para el primer escenario o 2022 sin tratamiento. En el escenario 2027 sin tratamiento las concentraciones de la mayoría de los parámetros permanecieron constantes al no aplicarse ningún tipo de tratamiento, realizándose el ajuste de proyección de carga para DBO₅ y coliformes termotolerantes con base en el aumento de la población para dicho año. Para el 2027 con tratamiento primario, los sólidos suspendidos totales se proyectaron con el 50% de remoción y para los nutrientes el 10% de remoción, los demás parámetros permanecen constantes, ya que para este tipo de tratamiento no hay ningún tipo de remoción de acuerdo a la referencia. En cuanto al 2037 con tratamiento secundario sumado a la desinfección, los valores disminuyen considerablemente para Coliformes termotolerantes en un 90 %, oxígeno disuelto y DBO₅ en un 80% y para nutrientes en un 15% de remoción.

En cuanto a la proyección de los escenarios para el uso de *preservación de flora y fauna* esta se realizó a partir de los datos del primer escenario 2022 sin tratamiento, en el sector *Cascajal* se tomó de los datos históricos los valores para pH de los percentiles 5 y 95, Temperatura percentiles 5 y 75, Oxígeno Disuelto percentil 5, SST percentil 95, coliformes Totales percentil 50, HAT y Nitritos percentil 90 y 95 respectivamente. De los datos actuales los valores de Nitritos y Fosfatos percentil 90, Nitratos percentil 95 y para los parámetros modelados DBO₅ y CTE se tomó el valor más crítico. Con respecto al *sector canal* se tomaron los valores de pH y Temperatura del percentil 5 y 95, Coliformes Termotolerantes, HAT y Fosfatos percentil 90 se tomaron de los datos históricos y de los actuales Oxígeno Disuelto percentil 5, Coliformes Totales percentil 90, SST percentil 75, Nitratos y Nitritos percentil 95.

Tabla 5. Proyección de escenarios para el uso potencial preponderante de preservación de flora y fauna.

SECTOR	PARÁMETRO	ESCENARIOS				
		(2020) SIN TRATAMIENTO	(2025) TRATAMIENTO PRIMARIO (50%)	(2025) SIN TRATAMIENTO	(2035) TRATAMIENTO SECUNDARIO (80%) + DESINFECCIÓN (90%)	(2035) SIN TRATAMIENTO
Cascajal	pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
	Oxígeno disuelto (mg/L)	4,2	5,46	4,2	7,56	4,2
	DBO ₅ a 20°C (mg/L)	2,7	2,2	2,9	1,2	3,4
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	8078	8949	8949	222	11000
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	15000	15000	15000	1500	15000
	Temperatura (°C)	26-30 °C ± 3°C	26-30 °C ± 3°C	26-30 °C ± 3°C	26-30 °C ± 3°C	26-30 °C ± 3°C
	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	60	30	60	6	60
	Nitratos (µg/L)	68,6	61,7	68,6	58,31	68,6
	Nitritos (µg/L)	28,1	25,29	28,1	23,885	28,1
	Fosfatos (µg/L)	9,6	8,64	9,6	8,16	9,6
	Hidrocarburos (µg/L)	2,96	2,66	2,96	2,52	2,96

	Material Flotante (visible)	Presente	Ausente	Presente	Ausente	Presente
Canal	pH	6,7 -8,5	6,7 -8,5	6,7 -8,5	6,7 -8,5	6,7 -8,5
	Oxígeno disuelto (mg/L)	4,8	6,2	4,8	8,6	4,8
	DBO ₅ a 20°C (mg/L)	1,3	1,1	1,3	0,8	1,5
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	6600	6600	6600	660	6600
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	66000	66000	66000	6600	66000
	Temperatura (°C)	27-30 °C ± 3°C				
	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	55,8	27,9	55,8	5,58	55,8
	Nitratos (µg/L)	46,7	42,03	46,7	39,695	46,7
	Nitritos (µg/L)	29	26,1	29	24,65	29
	Fosfatos (mg/L)	64	57,6	64	54,4	64
	Hidrocarburos (mg/L)	2,7	2,43	2,7	2,3	2,7
	Material Flotante (visible)	Presente	Ausente	Presente	Ausente	Presente

ND: No hay datos disponibles.

6. DEFINICIÓN DE SECTORES POR USOS REALES Y POTENCIALES

Para obtener los objetivos de calidad de la bahía de Buenaventura fue necesario identificar los usos del agua teniendo como referencia los usos del suelo (Ilustración 22) y marinos (Ilustración 23), el perfil del estado actual de calidad, parámetros y criterios de calidad de aguas (normas nacionales e internacionales), la presencia de fuentes de contaminación, la modelación hidrodinámica y de calidad de aguas de la bahía para coliformes termotolerantes y DBO₅, entre otras referencias. En el informe Diagnóstico se identificaron cinco (5) usos actuales de las aguas de la Bahía (*Preservación de Flora y Fauna, Estético, Navegación y Transporte Acuático y Pesca*); reconociendo que la bahía es multipropósito, no obstante, se priorizaron dos sectores para la propuesta de los objetivos de calidad (Tabla 6) coherentes con sus respectivos usos y área priorizada.

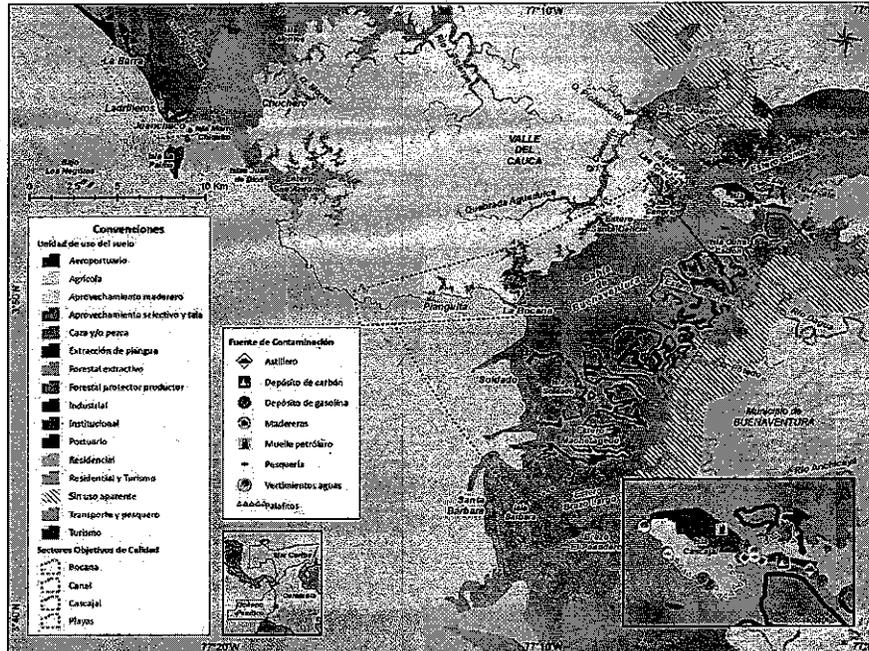


Ilustración 22. Mapa con el uso del suelo y los sectores priorizados en la Bahía de Buenaventura

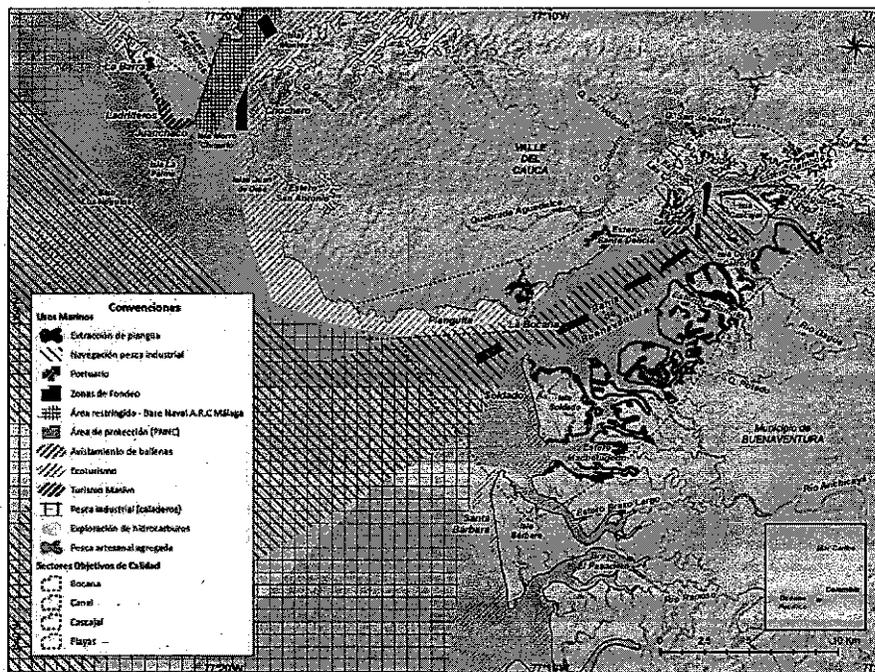


Ilustración 23. Mapa con los usos marinos y los sectores priorizados en la Bahía de Buenaventura

Tabla 6. Sectores definidos para la propuesta de objetivos de calidad en la bahía de Buenaventura.

SECTOR	DESCRIPCIÓN	USOS ACTUALES
CASCAJAL	Comprende el sector de las islas Cascajal y Cangrejo, los esteros Aguadulce, Gamboa y San Antonio y la desembocadura del río Dagua.	Navegación y Transporte Acuático Preservación de Flora y Fauna Pesca Estético
CANAL	Comprende desde la isla cangrejo y el estero	Navegación y Transporte Acuático

	limoncito hasta isla Bárbara y Bazán Bocana	Preservación de Flora y Fauna Pesca Estético
--	---	--

En las Tabla 7 a la Tabla 9 se indican los usos actuales de los sectores definidos para la bahía de Buenaventura, mostrando el valor medido de cada parámetro, el cual fue resultado de contrastar los datos estadísticos (mediana, percentil 50, 75 y 90, entre otros) actuales con los datos históricos, lo que permitió analizar y escoger el valor que representará el comportamiento del sector y compararlo con las normas nacionales o referencia internacionales utilizadas como criterio de calidad en cada uso actual o potencial identificado y valorar si el cuerpo de agua cumple o no con dicho uso.

6.1 Uso de pesca, maricultura y acuicultura

En la Ilustración 24 se presentan los sectores y las áreas donde se desarrolla la pesca industrial y artesanal. De acuerdo a los resultados observados para el uso pesquero en el sector Canal y Cascajal los criterios de calidad que no cumplen son el de coliformes termotolerantes, totales, y el de material flotante que se encuentra presente. Lo cual puede afectar la calidad de los recursos hidrobiológicos como la piangüa, camarón de aguas someras, pequeños pelágicos extraídos por la pesca artesanal para el consumo directo en algunos casos y para manipulación de empresas procesadoras de productos pesqueros entre otras, generando un riesgo en la salud del consumidor.

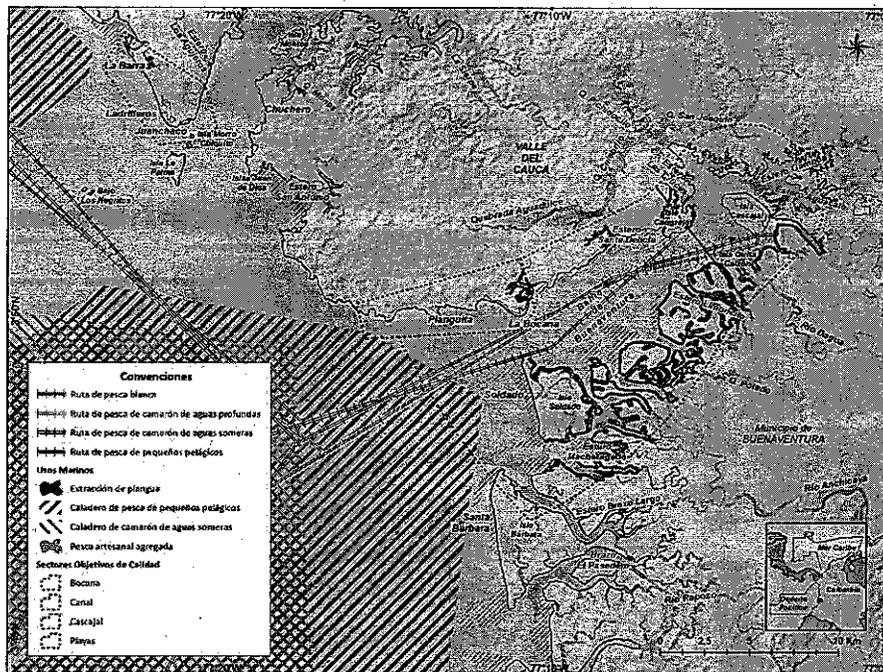


Ilustración 24. Mapa con el uso de pesca y los sectores priorizados en la Bahía de Buenaventura y las playas de Juanchaco, Ladrilleros y La Bocana.

Tabla 7. Revisión del cumplimiento de calidad del agua en los sectores para el uso de pesca.

PESCA					
SECTOR	VALOR MEDIDO	PARÁMETRO	VALOR DE REFERENCIA	NORMATIVIDAD	CUMPLE
Canal	7,96	pH	5,0 - 9,0	MinSalud, 1984	SI
	5,88	Oxígeno disuelto (OD) (mg/L)	≥4mg/L	ASEAN, 2008	SI

	1,41	DBO5 a 20°C (mg/L)	≤3mg/L	Chapman, 1996	SI
	430	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	≤1000	ASEAN, 2008	SI
	2400	Coliformes Totales (NMP/100mL)	≤5000	MinSalud, 1984	SI
	27-30 °C ± 3°C	Temperatura (°C)	CN ± 3°C	CONAMA, 2008	SI
	35,7	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	80 mg/L		SI
	7,05	Nitratos (µg/L)	≤6 0µg/L		SI
	15,6	Nitritos (µg/L)	≤55 µg/L	ASEAN, 2008	SI
	ND	Amonio (µg/L)	≤70 µg/L		
	4,65	Fosfatos (µg/L)	≤15µg/L		SI
	0,24	Hidrocarburos (µg/L)	≤10µg/L	UNESCO, 1984	SI
	Presente	Material Flotante (perceptible a la vista)	Ausencia		NO
Cascajal	7,6	pH	5,0 - 9,0	MinSalud, 1984	SI
	5,35mg/L	Oxígeno disuelto (mg/L)	≥4mg/L	ASEAN, 2008	SI
	1,1	DBO5 a 20°C (mg/L)	≤3mg/L	Chapman, 1996	SI
	5000	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	≤1000	ASEAN, 2008	NO
	15000	Coliformes Totales (NMP/100mL)	≤5000	MinSalud, 1984	NO
	26-30 °C ± 3°C	Temperatura (°C)	CN ± 3°C	CONAMA, 2008	SI
	17,8	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	25-80mg/L		SI
	25,9	Nitratos (µg/L)	≤60µg/L		SI
	22,2	Nitritos (µg/L)	≤55µg/L	ASEAN, 2008	SI
	ND	Amonio (µg/L)	≤70 µg/L		
	5,1	Fosfatos (µg/L)	≤15µg/L		SI
	0,48	Hidrocarburos (µg/L)	≤10µg/L	UNESCO, 1984	SI
	Presente	Material Flotante (perceptible a la vista)	Ausencia		NO

ND: No hay datos disponibles

6.2 Uso navegación y transporte

La navegación y transporte es el uso que se desarrolla en todos los sectores (Ilustración 25) y es uno de los menos restrictivos en cuanto a los criterios de calidad, sin embargo se supera la concentración máxima permitida de Coliformes Termotolerantes en el sector Cascajal. (Tabla 8).

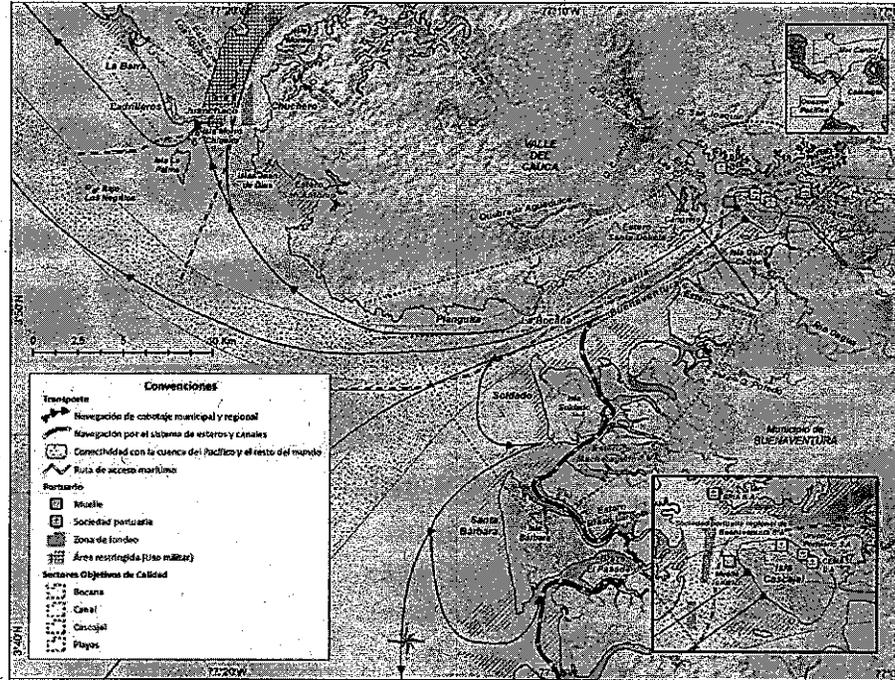


Ilustración 25. Mapa con el uso de navegación y transporte y los sectores priorizados en la Bahía de Buenaventura

Tabla 8. Revisión del cumplimiento de calidad del agua en los sectores para el uso de navegación y transporte.

NAVEGACIÓN Y TRANSPORTE					
SECTOR	VALOR MEDIDO	PARÁMETRO	VALOR DE REFERENCIA	NORMATIVIDAD	CUMPLIMIENTO
Canal	7,96	pH	6.0 - 9.5	CONAMA, 2008	SI
	430	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	≤1000	Minambiente Ecuador, 2003	SI
	27-30 °C ± 3°C	Temperatura (°C)	±5	CONAMA, 2008	SI
	35,7	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	80 mg/L	ASEAN, 2008	SI
	ND	Amonio (µg/L)	≤300mg/L		
Cascajal	7,6	pH	6.0 - 9.5	CONAMA, 2008	SI
	5000	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	≤2000	Minambiente Ecuador, 2003	NO
	26-30 °C ± 3°C	Temperatura (°C)	±5	CONAMA, 2008	SI
	17,8	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	80 mg/L	ASEAN, 2008	SI
	ND	Amonio (µg/L)	≤300mg/L		

ND: No hay datos disponibles

6.3 Uso de preservación de flora y fauna

Los criterios de calidad que se incumplen en los diferentes sectores para el uso de preservación de flora y fauna son los coliformes (totales y termotolerantes) y sólidos suspendidos totales para la el canal (Tabla 9). Observándose para estos sectores que existen diferentes ecosistemas como bancos de piangüa, agregaciones de cangrejos, de larvas de peces, mamíferos marinos y concentraciones de raya en la zona que podrían deteriorarse por la calidad del agua (Ilustración 26 y Ilustración 27).

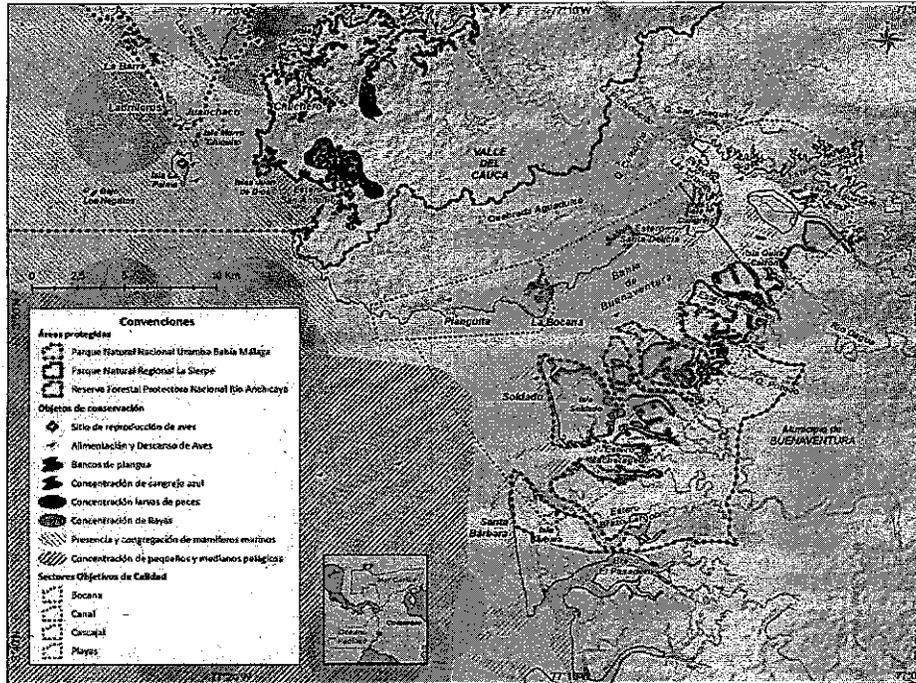


Ilustración 26. Mapa con el uso de preservación de flora y fauna, y los sectores priorizados en la Bahía de Buenaventura.

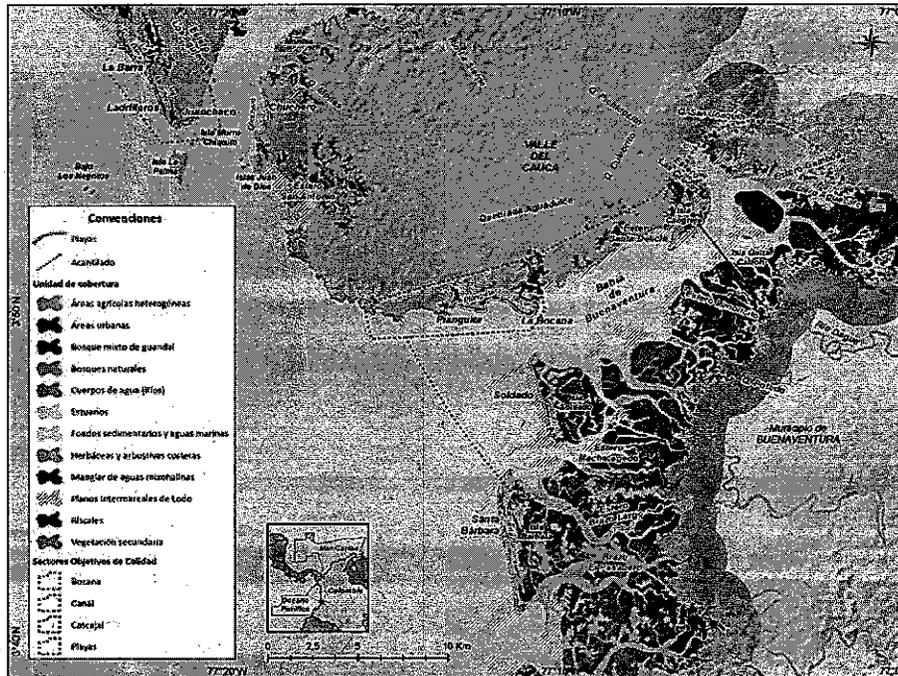


Ilustración 27. Mapa de cobertura de los ecosistemas presentes en los sectores priorizados en la Bahía de Buenaventura y las playas de Juanchaco, Ladrilleros y La Bocana.

Tabla 9. Revisión del cumplimiento de calidad del agua en los sectores para el uso de para preservación de flora y fauna.

PRESERVACIÓN FAUNA Y FLORA					
SECTOR	PARÁMETRO	VALOR MEDIDO	VALOR DE REFERENCIA	NORMATIVIDAD	CUMPLIMIENTO
Canal	pH	7,96	6,5 a 8,5	MinSalud, 1984	SI
	Oxígeno disuelto (OD) (mg/L)	5,88	≥4mg/L<10mg/L		SI
	DBO ₅ a 20°C (mg/L)	1,41	≤3 mg/L	Chapman, 1996	SI
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	430	≤200	MinSalud, 1984	NO
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	2400	≤1000	MinAmbiente Rep. Dominicana, 2012	NO
	Temperatura (°C)	27-30 °C ± 3°C	CN± 3°C		SI
	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	35,7	30mg/L	ASEAN, 2008	NO
	Nitratos (µg/L)	7,05	60µg/L		SI
	Nitritos (µg/L)	15,6	55µg/L		SI
	Amonio (µg/L)	ND	70µg/L		
	Fosfatos (µg/L)	4,65	45µg/L		SI
	Hidrocarburos (µg/L)	0,24	<10µg/L	UNESCO, 1984	
	Material Flotante (perceptible a la vista)	Presente	Ausente	MinAmbiente Rep. Dominicana, 2012	NO
Cascajal	pH	7,6	6,5 a 8,5	MinAmbiente Rep. Dominicana, 2012	SI
	Oxígeno disuelto(mg/L)	5,35mg/L	≥4mg/L<10mg/L	MinSalud, 1984	SI
	DBO ₅ a 20°C (mg/L)	1,1	≤3 mg/L	Chapman, 1996	SI
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	5000	≤200	MinSalud, 1984	NO
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	15000	≤1000	MinAmbiente Rep. Dominicana, 2012	NO
	Temperatura (°C).	26-30 °C ± 3°C	CN± 3°C		SI
	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	17,8	30mg/L	ASEAN, 2008	SI
	Nitratos NO ₃ (µg/L)	25,9	60µg/L		SI
	Nitritos NO ₂ (µg/L)	22,2	55µg/L		SI
	Amonio NH ₄ (µg/L)	ND	70µg/L		
	Fosfatos PO ₄ (µg/L)	5,1	45µg/L		SI
	Hidrocarburos (HAT) (µg/L)	0,48	<10µg/L	UNESCO, 1984	SI
	Material Flotante (perceptible a la vista)	Presente	Ausente	MinAmbiente Rep. Dominicana, 2012	NO

ND: No hay datos disponibles

7. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DE CALIDAD

Para la definición de los objetivos de calidad de la Bahía de Buenaventura se dividió el área de estudio en dos sectores: Cascajal y Canal, considerando el comportamiento estadístico de los datos y los usos actuales, potenciales y preponderantes, que fueron identificados mediante talleres de trabajo con actores, información secundaria, revisión de información geográfica, entre otras fuentes de información que aportaron en la construcción de las tablas adaptadas de la Guía MESOCA.

7.1 Propuesta inicial de objetivos de calidad por usos a corto, mediano y largo plazo.

La propuesta de objetivos de calidad se realizó a partir de los criterios y estándares de los *usos potenciales preponderantes*, los cuales serán definidos como objetivos de calidad, al establecer si existen las condiciones para pasar de las condiciones reales (*uso actual*) a las condiciones potenciales de calidad. Por lo que, a pesar que se definió por medio de un taller donde se analizaron las actividades por actores socioeconómicos de Buenaventura y la CVC, que el *uso potencial* en los dos sectores es el de *pesca, maricultura y acuicultura* la propuesta de objetivos de calidad en la bahía de Buenaventura se planteó a partir del *uso de preservación de flora y fauna*, teniendo en cuenta las condiciones potenciales de calidad más restrictiva en los sectores y permitiendo así cumplir con los demás usos que presentan los criterios de calidad con menor restricción.

Para los parámetros no modelados, se propusieron los objetivos de calidad del sector cascajal y canal y definiendo los objetivos a corto y a mediano plazo de acuerdo al comportamiento de los parámetros bajo los escenarios al 2020 sin tratamiento y al 2025 con tratamiento primario y para el largo plazo se tuvo en cuenta el del año 2035 con tratamiento secundario más desinfección contrastado con el límite permisible por las normativas nacionales e internacionales, para el *uso potencial preponderante de preservación de flora y fauna*.

Los objetivos inicialmente se proponen en los horizontes de tiempo planteados a partir de la estadística actual e histórica y contrastada con las normativas nacionales e internacionales por usos. Por lo anterior, los objetivos de calidad deben contribuir a minimizar el impacto sobre la salud de la población y a la estética del paisaje. Se han definido objetivos de calidad tendientes a evitar olores ofensivos mediante la implementación tiempo de sistemas de tratamiento primarios, secundarios y con desinfección de aguas residuales en los horizontes de para el mejoramiento de los niveles de oxígeno disuelto, la reducción de la carga de coliformes totales y termotolerantes, nutrientes, DBO₅, y de los sólidos suspendidos totales.

Tabla 10. Propuesta Objetivos de Calidad Bahía Buenaventura.

SECTOR	PARÁMETRO	METAS Y OBJETIVOS		
		2022 CORTO PLAZO	2027 MEDIANO PLAZO	2037 LARGO PLAZO
Cascajal	pH	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5
	Oxígeno disuelto (OD) (mg/L)	>4 y <10	>4 y <10	>4 y <10
	DBO ₅ a 20°C (mg/L)	≤3	≤3	≤3
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	≤ 8100	≤ 8100	≤ 200
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	≤15000	≤15000	≤1000
	Temperatura (°C)	26-30 °C ± 3°C	26-30 °C ± 3°C	26-30 °C ± 3°C
	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	≤40	≤30	≤30
	Nitratos (µg/L)	≤60	≤60	≤60
	Nitritos (µg/L)	≤55	≤55	≤55
	Amonio (µg/L)	≤70	≤70	≤70
	Fosfatos (µg/L)	≤45	≤45	≤45
	Hidrocarburos (µg/L)	≤10	≤10	≤10
	Grasas y aceites (mg/L)	0,14	0,14	0,14
	Material Flotante (visible)	Presente	Ausente	Ausente
Canal	pH	6,5 -8,5	6,5 -8,5	6,5 -8,5
	Oxígeno disuelto (mg/L)	>4 y <10	>4 y <10	>4 y <10
	DBO ₅ a 20°C (mg/L)	≤3	≤3	≤3
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	≤6600	≤6600	≤200
	Coliformes totales (NMP/100mL)	≤66000	≤66000	≤1000
	Temperatura (°C)	27-30 °C ± 3°C	27-30 °C ± 3°C	27-30 °C ± 3°C
	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	≤55,8	≤30	≤30
	Nitratos (µg/L)	≤60	≤60	≤60
	Nitritos (µg/L)	≤55	≤55	≤55
	Amonio (µg/L)	≤70	≤70	≤70
	Fosfatos (µg/L)	≤65	≤65	≤65
	Hidrocarburos (µg/L)	≤10	≤10	≤10
	Grasas y aceites (mg/L)	0,14	0,14	0,14
	Material Flotante (visible)	Presente	Ausente	Ausente

BIBLIOGRAFIA

- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation). 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22 edición. Washington. 1463 p.
- Ashbolt NJ, Grabow WOK y Snozzi M, 2001: Indicators of microbial water quality. En: Fewtrell L, Bartram J, (eds.) Water quality: Guidelines, standards and health –Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. Serie de monografías de la OMS sobre el agua (Water Series). Londres (Reino Unido), IWA Publishing, págs. 289–315.
- ASEAN-Association of Southeast Asian Nations. 2008. Marine water quality: Management guidelines and Monitoring manual. Australian Marine Science and Technology Ltd (AMSAT). Australian Government. AusAID. Indonesia. 444 p.
- Boyes S., y M. Elliott. 2006. Organic matter and nutrient inputs to the Humber Estuary, England. Marine Pollution Bulletin 53:136–143.
- Boyd, C.E. y C.S. Tucker, 1992. Water quality and pond soil analyses for aquaculture. Alabama aquacultural experiment station. Auburn University. USA
- Cantera, J.R. 1991. Etude structurale des mangroves et des peuplements littoraux des deux baies du pacifique colombiano (Málaga et Buenaventura). Rapport avec les conditions du milieu et les perturbations anthropiques. These d'Etat Sciences. Université d'Aix-Marseille II. Marseille France, 429 p.
- CAN-Comunidad Andina. 2001. Segundo Taller "Conservación de Ecosistemas Transfronterizos y Especies Amenazadas". Lima. Perú. http://www.comunidadandina.org/development/t2_d2a2.htm. Consultada el 1 de octubre de 2015.
- Cervantes, M. 2007. Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México. En: Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. United States Fish & Wildlife Service. Unidos para la conservación A.C. Escuela de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 37-67 p.
- CINARA- Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico de la Universidad del Valle. 2011. Convenio de asociación N° 163 entre el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y la Universidad del Valle. Proyecto "Actualización de los usos y criterios de calidad para la destinación del recurso hídrico en Colombia". Cali. 275 p.
- CCCP-Centro Control de Contaminación del Pacífico. 2001. Caracterización y Evaluación del Litoral Pacífico – Fase VIII. Informe Técnico. San Andrés de Tumaco.
- CCCP. 2002. Compilación oceanográfica de la cuenca Pacífica colombiana. DIMAR – CCCP. 107 pp.
- Chapman, D. 1996. Water quality assessments- A Guide to Use of Biota, Sediments and water in Environmental Monitoring- Second Edition. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization-UNESCO, World Health Organization-WHO, United Nations Environment Programme-UNEP, UNESCO/WHO/UNEP. London. 651 p.
- CONAMA- Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile. 2008. Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas en el territorio de la República de Chile. Santiago de Chile. 18 p.

- EPA, 1985. Rates, constants and kinetics formulations in surface water quality modeling (second edition). Environmental Research laboratory office of research and development. US. Environmental Protection Agency. Athens, Georgia. 455pp.
- Garay, J., G. Ramírez; J. Betancourt; B. Marín; B. Cadavid; L. Panizzo; J. Lesmes; H. Sánchez y A. Franco. 2003. Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR. Serie Documentos Generales N° 13. Santa Marta, 177 p.
- IDEAM- Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales. 2012. Nivel del Mar y régimen de marea en las estaciones mareográficas de Colombia. Subdirección de Meteorología. Recopilado por: Martha Cecilia Cadena. Bogotá. 12p.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales. 2014. <http://www.pronosticosyalertas.gov.co/jsp/loader.jsf?id=894&IServicio=Publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&ITipo=publicaciones&d=49700-p=1>. 21/11/2014
- Kiely, G. y Veza, J. 2003. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Mc. Graw Hill. España. 1331p.
- Malikov, I. y G. Camacho. 1998. Método de aproximación para determinar cambios entre años aplicados a parámetros de temperatura y salinidad del Pacífico Colombiano. Boletín Científico del CCCP. 7: 30-41.
- MADS- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2012. Decreto 2667 del 21 de Diciembre. "Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones". Bogotá. 15 p.
- MADS- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Resolución 0631 del 17 de marzo. El cual establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Bogotá, D.C. 62 p.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2012. Norma ambiental de calidad de aguas superficiales y costeras. Santo Domingo, República Dominicana. Septiembre de 2012. 12 p.
- MinDesarrollo- Ministerio de Desarrollo Económico. 2000. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS-2000. Sección II. Título E. Tratamiento de Aguas Residuales. República de Colombia. Dirección de Agua Potable Saneamiento Básico. Bogotá. 145 p.
- Marcó, L., R. Azario, C. Metzler., M. García. 2004. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de fuentes superficiales. Revista Higiene y Sanidad Ambiental. España. Vol. 4. 72-82 p.
- MAVDT - Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2003. Decreto 3100 del 30 de Octubre. Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones. Bogotá. 14 p.
- MAVDT - Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2004. Decreto 3440 del 21 de Octubre. "Por el cual se modifica el decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones". Bogotá. 11 p.
- MAVDT- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2004. Resolución 1433 del 16 de Diciembre. Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes

- de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones. Bogotá. 5 p.
- MAVDT- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2005. Resolución 2145 del 23 de Diciembre. "Por el cual modifica parcialmente la resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV". Bogotá. 2 p.
- MAVDT - Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2006. Guía Metodológica para el Establecimiento de Objetivos de Calidad de los Cuerpos de Agua en Ausencia de los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico – PORH. Metodología MESOCA. Bogotá, 52 p.
- MAVDT- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Decreto 3930 del 25 de Octubre. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá. 26 p.
- MINAGRICULTURA – Ministerio de Agricultura. 1978. Decreto 1541 del 26 de Julio. Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973. Bogotá D.C. 66 p.
- MINAGRICULTURA – Ministerio de Agricultura. 1979. Decreto 1875 del 2 de Agosto. Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones. Bogotá D.C. 6 p.
- MINIAGRICULTURA- Ministerio de Agricultura. 1993. Ley 99 del 22 de Diciembre. "Por la cual se crea el Ministerio de 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 y se dictan otras disposiciones.
- Ministerio de Ambiente de Ecuador. 2003. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Amparada bajo la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Presidencia de la República de Ecuador. Libro IV Anexo 1. Quito. 54 p.
- Ministerio de Ambiente de Perú. 2008. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Decreto N° 2. Perú. 6 p.
- Ministerio de la Protección Social. 2007. Decreto 1575 del 9 de Mayo. "Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Bogotá. 14 p.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2012. Norma ambiental de calidad de aguas superficiales y costeras. Santo Domingo, República Dominicana. Septiembre de 2012. 12 p.
- MINSALUD- Ministerio de Salud. 1979. Ley 9 del 24 de Enero. Por el cual se dictan Medidas Sanitarias. Bogotá. 84 p.
- MINSALUD–Ministerio de Salud. 1984. Decreto No. 1594 del 26 de junio. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III – Libro I – del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos, Bogotá. 61 p.
- Odum y Warrett. 2006. Fundamentos de Ecología. Quinta edición. Thomson Editores S.A. México. 614p

- Otero, L. 2005. Aplicación de un Modelo Hidrodinámico Bidimensional para Describir las Corrientes y la Propagación de la Onda de Marea en la Bahía de Buenaventura. Boletín Científico CCCP. 12: 9-21.
- Presidencia de la República de Colombia. 1974. Decreto Ley 2811 del 18 de Diciembre. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Bogotá. 64 p.
- Presidencia de la República de Colombia. 1978. Decreto 1541 del 26 de Julio. Por el cual se reglamenta la parte III del Libro II del decreto- ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la ley 23 de 1973. Bogotá. 62 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1996. Norma oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México, D.F. 35 p.
- Schlitzer, R. 2015. Ocean Data View, Tomado de: odv.awi.de, 03/12/2015.
- Snedaker, S.C. y J.G. Snedaker, 1984. The mangrove ecosystem: research methods. UNESCO, Inglaterra, 251pp.
- UNESCO- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 1984. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. Manuales y guías No. 13 de la COI. 87 p.
- Vivas-Aguas, L.J., K. Ibarra, J. Sánchez, M. Martínez, Y. Nieto, Y. Moreno, I. Cuadrado, P. Obando, O. Garcés-Ordoñez, D. Sánchez, M. Villarraga y O. Sierra. 2015. Diagnóstico y Evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones periódicas del Invemar No. 4-(2015). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe técnico 2014. Invemar, Santa Marta. 320 p.
- Vivas-Aguas, L. J. M. Vargas- Morales, K. Guillen Oñate, M. Villarraga y D. Sánchez. 2014. Vulnerabilidad de la población costera frente a la contaminación orgánica y microbiológica en la bahía de Buenaventura. Serie de publicaciones generales del Invemar. No. 76. Santa Marta. 24 p.
- Xu, R. y J. P. Obrad. 2004. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in oil-contaminated beach sediments treated with nutrient amendments. J. Environ. Qual. 33: 861-867.

