# Evaluación de la calidad fisicoquímica del agua de la bahía de Turbo teniendo en cuenta dos temporalidades

# Evaluation of the physico-chemical quality of the water in Turbo Bay through two temporalities

### Yirlesa Murillo Hinestroza<sup>1</sup>, Zoraida Quesada Martínez<sup>2</sup>, Lady Vargas Porras<sup>3</sup>

#### Resumen

Las zonas costeras o bahías son consideradas como uno de los ecosistemas más ricos y productivos, muy fluctuantes y caracterizados sobre todo por la mezcla entre agua de mar y aguas continentales. Con el objetivo de evaluar la calidad fisicoquímica de la bahía de Turbo, tanto en 2013 como en 2015, se seleccionaron 6 puntos de muestreo cada 100 metros a partir del punto de intersección entre el caño Waffe y la bahía; además se realizaron muestreos superficiales y a un metro de profundidad tanto en flujo como en reflujo. En cada punto se hicieron mediciones in situ de variables fisicoquímicas como temperatura, conductividad, sólidos disueltos y suspendidos, turbiedad, oxígeno disuelto, pH, nitrato, nitrito, sulfato y fosfato, utilizando un colorímetro portátil HACH 850 y un multiparámetro YSI Profesional Plus Quick 1700/1725 respectivamente. También se utilizó una botella muestreadora horizontal Wildco 2.2 litros, para la recolección de muestras a diferentes profundidades, las cuales fueron enviadas al laboratorio TUNELAPA ICA de CORPOURABÁ para el análisis de coliformes totales y fecales, sólidos totales, grasas y aceites. Los datos arrojados y las interpretaciones realizadas permiten expresar que en ambos períodos se vertieron aportes considerables de contaminantes, que pueden restringir el desarrollo de la fauna y flora al interior del ecosistema, afectar a las poblaciones aledañas a esta y por lo tanto la calidad fisicoquímica del agua. No obstante, fue en el período de 2013 donde se evidenció un mayor aporte de estos contaminantes, lo cual se refleja en el aumento de algunas variables como coliformes fecales y totales, sólidos, grasas y aceite entre otras.

**Palabras clave:** Bahía, Calidad del agua, Ecosistemas, Parámetros fisicoquímicos, Turbo.

- <sup>1</sup> Ingeniera Ambiental, Investigadora del Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), Quibdó, Colombia.
  - e-mail: yirdavid@hotmail.com
- Ingeniera Ambiental y Sanitaria, Especialista en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Investigadora de Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), Quibdó, Colombia. e-mail: zoraidaquesada35@gmail.com
- Ingeniera Ambiental y Sanitaria, Especialista en Gestión del Recurso Hídrico, Investigadora del Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), Quibdó, Chocó, Colombia.

e-mail: <u>lady8181@gmail.com</u>

#### **Abstract**

The coastal zones or bays are considered as one of the richest and most productive ecosystems, very fluctuating and characterized mainly by the mixture between sea water and continental waters. In order to evaluate the physicochemical quality of Turbo Bay, in 2013 and 2015, 6 sampling points were selected every 100 meters from the point of intersection between the Waffe channel and the bay. I m depth in both flow and reflux. At each point, in situ measurements of physicochemical variables such as temperature, conductivity, dissolved and suspended solids, turbidity, dissolved oxygen, pH, nitrate, nitrite, sulfate and phosphate were made using a HACH 850 Portable Colorimeter and a YSI Professional Plus Quick 1700 Multiparameter/1725 respectively. In addition, a Wildco 2.2 liter horizontal sampler was used to collect samples at different depths, which were sent to the TUNELAPA ICA laboratory of CORPOURABÁ for the analysis of total and fecal coliforms, total solids, fats and oils. The data provided and the interpretations made allow us to express that in both periods considerable contributions of pollutants were shed, which can restrict the development of the fauna and flora to the interior of the ecosystem, affect the populations surrounding this and therefore the physicochemical quality of the water. Nevertheless, it was in the period of 2013 that a higher contribution of these contaminants was evidenced, which is reflected in the increase of some variables such as fecal and total coliforms, solids, fats and oil, among others.

**Keywords:** Bay, Ecosystems, Physicochemical parameters, Turbo, Water quality.

#### Introducción

Dentro de los sistemas naturales más importantes a nivel ecológico y socioeconómico se encuentran las zonas costeras o bahías, consideradas como uno de los ecosistemas más ricos y productivos, muy fluctuantes y caracterizados principalmente por la mezcla entre agua de mar y aguas continentales, siendo la intensidad y frecuencia de esta mezcla, la que determina en su mayor parte los cambios estacionales de las características químicas del agua y de las poblaciones biológicas que las habitan. Cicin-Sain et al. (2006), manifiestan que las las zonas costeras y los mares, son componentes integrales y esenciales de la tierra y se constituyen en áreas críticas para la seguridad alimentaria global y para el bienestar económico de las naciones, particularmente en países en vías de desarrollo, además que, desde el punto de vista ecológico, estos ambientes ofrecen una variedad de hábitat que les concede una especial importancia en términos de biodiversidad.

Estos ecosistemas son importantes no solo porque incluyen diferentes tipos de hábitat y albergan una enorme riqueza de especies por su alta productividad, sino que además son parte fundamental en la regulación hidrológica y climática, proveen a las comunidades de recursos económicos y alimenticios, constituyen un importante medio de transporte y un área de conexión ecológica entre diferentes tipos de ecosistemas, aspectos que le permiten garantizar la conservación de la biodiversidad y la prestación de bienes y servicios ambientales, económicos y socioculturales a las comunidades. De ahí que la bahía de Turbo constituya un lugar de gran interés no solo a nivel ecológico porque alberga comunidades biológicas en su interior, o a nivel socioeconómico por la diversidad de actividades productivas que se realizan en ella y de las cuales dependen el sostenimiento de las comunidades de su área de influencia, sino también, a nivel ambiental por el papel que desempeña en los ciclos climáticos, hídricos y biológicos a nivel global.

Sin embargo, uno de los principales problemas a las que se ven expuestos estas zonas costeras, está relacionado con las descargas incontroladas

de aguas residuales domésticas sin tratamiento que generan perturbaciones y contaminación. Se suma la inadecuada disposición de excretas, la ausencia o el deficiente sistema de alcantarillado y tratamiento que se convierten en elementos contaminantes que se aportan a las bahías (Gonzáles et al. 2003). Sumado a esto, toda la contaminación proveniente de los ríos o caños aledaños a las zonas costeras y sus ecosistemas, que se generan principalmente como resultado de la sobrepoblación y la falta de sistemas de saneamiento básico en los centros poblados localizados en su área de influencia, lo que convierte todo el sistema hídrico no solo en una fuente de abastecimiento de agua sino también, en el sitio más frecuente de disposición, ocasionando graves impactos sobre la sostenibilidad de los ecosistemas marino costeros y sus recursos.

Teniendo en cuenta esto, Lerman (1981) califica a los ríos como la principal ruta de introducción de contaminantes al mar producidos por la actividad humana y por causas naturales. En adición, las principales fuentes fijas de contaminación corresponden a las plantas industriales, desechos municipales y sitios de extracción, explotación y construcción como excavaciones (explotación

agrícola, aprovechamientos forestales, minería, etc.) (GESAMP 2001).

Conforme a lo expuesto, se evaluó en el 2013 y 2015 la calidad fisicoquímica de la bahía de Turbo teniendo en cuenta los aportes contaminantes de fuentes continentales específicamente del caño Waffe, mediante el análisis de variables fisicoquímicas que permitieron evidenciar el estado de conservación del ecosistema como hábitat para la fauna y flora, además de fuente de importantes bienes y servicios ambientales.

## Materiales y métodos

Área de estudio. En el municipio de Turbo, ubicado en la subregión del Urabá en el departamento de Antioquia, Colombia, se encuentran el caño Waffe y la bahía de Turbo, los cuales constituyeron el área de muestreo localizadas a los 8°5'23.2, 76°43'57.0" W y 8°5'13.9" N, 76°43'57.0" W respectivamente (Figura 1). Para el caso del caño, presenta un cauce artificial como resultado del ensanchamiento y dragado del mismo, para facilitar la actividad portuaria. Este se encontró constituido por un espejo de agua salobre de aproximadamente 2 m de pro-

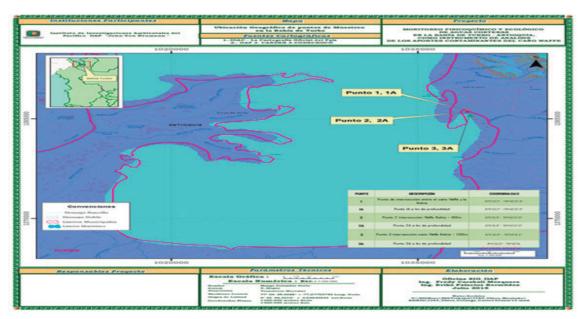


Figura 1. Ubicación de puntos de muestreo en la bahía de Turbo 2013-2015.

#### **Bioetnia Volumen 14, 2017**

fundidad en algunas de sus riberas, presentó una forma ciertamente curvada y se caracterizó por presentar aguas que podrían considerase lenticas además, de presentar concentraciones elevadas de turbiedad, lechos de sedimento fangoso y aguas muy contaminadas por el vertimiento de desechos sólidos aportados por las actividades domésticas e industriales junto con el vertimiento de grasas y aceites entre otros, producto del tránsito de las embarcaciones que en él arriban. En cuanto a la bahía, se caracterizó por presentar aguas con cierto grado de turbiedad en marea baja y poca profundidad, contrario a marea alta donde sus aguas son más transparentes con una profundidad entre 5 y 6 metros aproximadamente; en general, se observó gran cantidad de desechos orgánicos e inorgánicos provenientes de los caños, ríos y playas conectadas a ella.

Métodos. Se seleccionaron tres estaciones de muestreo previo a un recorrido por el sistema hídrico constituido por el caño y la bahía (Tabla 1). Los puntos se localizaron cada 100 metros a partir del punto de intersección hasta llegar a la bahía y en cada una se realizaron muestreos superficiales y a un metro de profundidad respectivamente, lo que en su totalidad representó seis puntos para la toma de muestras, las cuales fueron realizadas en marea baja y alta, para dar respuesta al comportamiento de las variables en la dinámica del flujo. En cada punto se hicieron mediciones in situ de variables fisicoquímicas como temperatura, conductividad, sólidos di-

sueltos, sólidos suspendidos, turbiedad, oxígeno disuelto, pH, nitrato, nitrito, sulfato y fosfato, utilizando un colorímetro portátil HACH 850 y un multiparámetro YSI Profesional Plus Quick 1700/1725 respectivamente (Tabla 1).

Adicionalmente se utilizó un GPS para la georreferenciación de cada punto y una botella muestreadora horizontal Wildco 2.2 litros para la recolección de muestras a diferentes profundidades, las cuales fueron enviadas al laboratorio TUNELAPA ICA de CORPOURABÁ para el análisis de coliformes totales y fecales, sólidos totales, grasas y aceites (Figura 2).

Para analizar el estado y la conservación del agua como ecosistema prioritario para el establecimiento de grupos biológicos en la bahía de Turbo, se hizo una comparación de los datos obtenidos tanto en el año 2013 como en el 2015 con los estándares de calidad para la preservación de la fauna y la flora acuática, así como con los datos arrojados por otras investigaciones de calidad de agua en fuentes superficiales y las observaciones realizadas en campo sobre el estado del agua, su dinámica de flujo y su interacción con componentes biológicos. Además, se realizó un analisis de componentes principales mediante el paquete estadístico Statgraphics Centurión.

### Resultados y discusión

Análisis de la calidad fisicoquímica de la bahía de Turbo (2013-2015). Los datos (2013-2015)

Punto	Descripción	Coordenadas
1	Punto de intersección entre el caño Waffe y la bahía de Turbo	8°5'23.2"- 76°43'57.0"
1A	Punto 1A a un m de profundidad	8°5'23.2"- 76°43'57.0"
2	Punto 2 intersección Waffe-bahía + 100 m	8°5'13.9"- 76°43'57.0"
2A	Punto 2A a un m de profundidad	8°5'13.9"- 76°43'57.0"
3	Punto 3 intersección caño Waffe-bahía + 200 m	8°4'55.0"- 76°43'51.5"
3A	Punto 3A a un m de profundidad	8°4'55.0"- 76°43'51.

Tabla 1. Distribución y localización de los puntos de muestreo

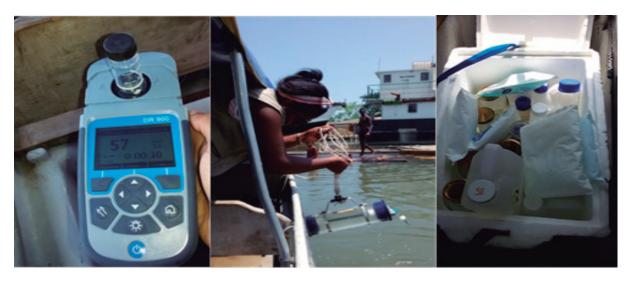


Figura 2. Monitoreo in situ y toma de muestras para análisis en laboratorio.

producto de la evaluación de la calidad fisicoquímica de la bahía de Turbo se encuentran en la Tabla 2. Se encontró un comportamiento similar para el caso de la temperatura en ambos períodos de muestreo porque osciló entre 31,4°C, 33°C y 27,6°C, 28,6°C, para marea baja y alta en 2013 y entre 30,9°C, 31,5°C y 30,1°C, 32,2°C, para la misma condición en 2015, lo que demuestra un ecosistema de aguas cálidas que se relacionó con las horas del muestreo (12:00-1:00 pm) donde había una mayor presencia de radiación solar que generó un aumento de esta variable en el agua. Conforme a esto, Málikov y Villegas (2005) manifiestan que el aumento de los valores de esta variable en zonas costeras está relacionado con los cambios de temperatura de la atmosfera entre el día, la noche y la dinámica de la marea a lo largo del día, además, de la energía solar reflejada por el cielo. De manera general los valores de temperatura obtenidos corresponden a aguas modernamente cálidas, típicas de este tipo de ambientes en la región, cuyos niveles resultan tolerables para la fauna y flora acuática. Sin embargo, incrementos favorecidos por las alteraciones climáticas y la contaminación del agua podrían afectar significativamente el desarrollo de procesos biológicos, teniendo en cuenta que la temperatura es un factor condicionante de la vida acuática, ya

que su variación no solo afecta la solubilidad de gases como el oxígeno disuelto, el cual determina la presencia o ausencia de grupos biológicos acuáticos en un ecosistema, sino también, de variables como el pH y la conductividad entre otras, que modifican las condiciones del agua como hábitat para diversidad de especies. En relación con lo expresado, Rico y Fredriksen (1996) afirman que al bajar la marea las fluctuaciones de la temperatura pueden ser considerables y existe el riesgo de la desecación, lo cual generaría una disminución en la solubilidad del oxígeno afectando de manera directa la conservación de la biota acuática de este tipo de ambientes.

Los sólidos disueltos variaron entre 8.892 mg/l, 15.609 mg/l y 16.256,6 mg/l, 23.465 mg/l para flujo y reflujo en 2013 y entre 6.448,5 mg/l, 13.175,6 mg/l y 11.713 mg/l, 12.694,5 mg/l para marea baja y alta en 2015, lo que para ambos períodos evidencia una elevada presencia de materiales disueltos en el agua, que a su vez son indicadores de contaminación. Sin embargo, es de notar que las concentraciones más altas fueron en el año 2013 en los puntos 3 y 3A para el caso de marea alta, esto posiblemente por la gran cantidad de sustancias y materia orgánica aportadas por las diferentes actividades domésticas, industriales, comerciales, marítimas y portuarias realizadas

# Bioetnia Volumen 14, 2017

Tabla 2. Valores obtenidos in situ de variables fisicoquímicas en la bahía de Turbo

Parámetros	Punto 1 intersección	Punto 1a un m	Punto 2 intersección	Punto 2a un m	Punto 3 intersección	Punto 3a un m
	Waffe y la bahía de Turbo	de profundidad	Waffe + 100m	de profundidad	Waffe +200 m	de profundidad
Conductividad (us/cm) 2013	17.671	15.749	16.989	16.989	26.878	25.371
		26.752	36.202	35.514	38.530	38.539
Conductividad (µs/cm) 2015		22.029	22.691	22.523	21.048	11.153
	21.793	21.294	21.244	21.477	19.829	20.179
Temperatura (°C) 2013	31,4	33,0	31,0	32,0	30,0	31,9
	28,0	27,8	28,1	27,6	28,6	28,5
Temperatura (°C) 2015	30,9	31,5	31,2	31,0	31,3	31,5
	31,2	31,2	30,6	30,2	32,2	30,1
Oxígeno disuelto (mg/l) 2013	3 3,7	3,8	5,0	5,1	9,7	5,1
	2,90	2,4	3,5	3,0	5,2	3,8
Oxígeno disuelto (mg/l) 2015	5 2,0	1,5	5,2	3,8	5,8	4,0
		2,6	4,2	2,9	9,4	3,5
Sólidos disueltos (mg/l) 2013	10.24	8.892,0	9.763,0	9.841,0	15.609,0	13.655,5
	21.518,50	16.256,6	22.139,0	21.996,0	23.458,0	23.465,0
Sólidos disueltos (mg/l) 2015	5 12.824,50	12.772,6	13.175,6	13.136,5	12.207,00	6.448,5
	12.694,0	12.402,0	12.473,5	12.694,5	11.713,00	11.953,5
Sólidos suspendidos (mg/l) 2013	2013 150	119	53	55	24	35
	20	62	35	35	13	13
Sólidos suspendidos (mg/l) 2015	2015 57	99	45	333	21	200
	42	184	28	>750	16	19
pH 2013	8,1	8,1	8,8	9,1	8,3	8,3
	9,2	7,4	7,7	7,8	8,1	8,1
pH 2015	6,9	6,8	6,8	6,8	6,8	6,7
	6,1	6,1	6,4	6,3	6,4	6,4
Turbiedad (FAU) 2013	130	66	49	49	21	25
	51	52	44	43	22	15
Turbiedad (FAU) 2015	58	58	47	304	24	185
	42	177	31	>1.000	18	19
Sulfatos (mg/l) 2013	08<	>80	>80	>80	>80	>80
	>80	>80	>80	>80	>80	>80

## Calidad fisicoquímica del agua de la bahía de Turbo. Y Murillo Hinestroza et al.

Tabla 2. Valores obtenidos in situ de variables fisicoquímicas en la bahía de Turbo (continuación)

Waffe Sulfatos (mg/l) 2015 Fosfatos (mg/l) 2013						
Sulfatos (mg/l) 2015 Fosfatos (mg/l) 2013	Waffe y la bahía de Turbo	de profundidad	Waffe + 100m	de profundidad	Waffe +200 m	de profundidad
Fosfatos (mg/l) 2013	1080	1045	951	096	906	1040
Fosfatos (mg/l) 2013	1013	1004	772	808	701	808
	>2,75	>2,75	0,92	>2,75	1,61	0,66
	>2,75	0,95	0,62	0,51	>2,75	0,27
Fosfatos (mg/l) 2015	1,10	26,0	1,49	> 2,5	1,63	0,65
	>2,5	>2,5	1,44	>2,5	0,37	2,5
Nitratos (mg/l) 2013	27,2	73,03	7,6	78,6	131,1	110,49
	117,62	143,64	148,31	145,05	154,48	158,92
Nitratos (mg/l) 2015	2,5	<0,03	0,0	<0,03	0,0	<0,03
	0,0	<0,03	0,0	>30	0,0	0,0
Nitritos (mg/l) 2013	0,299	0,173	0,095	0,171	0,065	0,081
	0,129	0,133	0,129	990'0	0,062	0,084
Nitritos (mg/l) 2015	0,024	0,013	0,010	0,042	0,019	>0,35
	>0,35	0,082	0,003	<0,005	0,004	0,005
Salinidad % 2013	9,2	7,8	13,8	8,7	17,08	12,8
	20,62	15,9	21,47	21,2	22,69	22,7
Salinidad % 2015	11,6	11,6	12,0	12,1	12,0	10,0
	11,4	11,2	11,3	11,5	10,57	10,8
Sólidos totales (mg/l) 2013	11.306	11.052	7.874	4.500	22.860	13.586
	27.838	32.376	27.784	29.460	27.796	29.322
Sólidos totales (mg/l) 2015	22.087	15.946	13.410	13.271	14.778	12.968
	12.969	13.311	13.637	12.733	11.683	11.865
Coliformes totales NMP 2013 2	2.600'000.000 3.	3.400'000.000	3,500,000	17000000	9.200	920.000
	28,000.000	240'000.000	9,200.000	16'000.000	18.000	24.000
Coliformes totales NMP 2015	920.000	160.000	1.100	160.000	490	1.300
	280.000	240.000	140.000	79.000	49.000	49.000
Coliformes fecales NMP 2013	400,000.000	200,000.000	170.000	5,000.000	1.700	130.000
	2,200.000	28'000.000	5,400.000	13'000.000	3.300	3.300
Coliformes fecales NMP 2015	540.000	79.000	^ 1,8	44.000	170	۸ 4,6
	140.000	34.000	13.000	33.000	33.000	22.000

Tabla 2. Valores obtenidos in situ de variables fisicoquímicas en la bahía de Turbo (continuación)

Parámetros	Punto 1 intersección Waffe y la bahía de Turbo	Punto 1a un m de profundidad	Punto 2 intersección Waffe + 100m	Punto 2a un m de profundidad	Punto 3 intersección Waffe +200 m	Punto 3a un m de profundidad
Grasas y aceites (mg/l) 2013	62,9	57,8	94,8	119,4	6,79	75,1
	56,7	113,9	180,9	71,6	140,4	47,3
Grasas y aceites (mg/l) 2015	0,6>	0,6>	0,6>	0,6>	0,6>	0,6>
	0,6>	<9,0	0,6>	0,6>	0,6>	0,6>
Marea baja	12:50 pm	1:20 pm	1:35 pm	2:00 pm	2:25 pm	2:40 pm
Marea alta	6:35 am	6:43 am	7:12 am	7:20 am	7:50 am	8:00 am
Marea baja 2015	10:25 am	12: 00 pm	12:40 pm	1:00 pm	1:30 pm	2:00 pm
Marea alta 2015	7:02 am	7:30 am	6:11 am	6:40 am	5:25 am	5:40 am



Figura 3. Vertimientos sólidos y líquidos, actividades marítimas y recreativas en el caño Waffey su intersección con la bahía de Turbo.

por los asentamientos urbanos y aquellos localizados directamente sobre el Waffe (Figura 3), sumado a que en marea alta se genera un incremento de la cantidad de agua de mar rica en minerales y sales que junto con los aportes contaminantes producto de las actividades antrópicas que ingresan al sistema a través del río, alcanzan su máxima disponibilidad durante esta fase debido al choque de corrientes, ocasionando un gran aumento de la conductividad, quien por su parte, osciló entre 15.749, 26.878 µs/cm y 15.125, 38.539 µs/cm, para marea baja y alta en 2013 y entre  $11.153, 22.691 \,\mu\text{s/cm} \, y \, 19.829, 21.793 \,\mu\text{s/cm} \, tanto \, en$ flujo como en reflujo para 2015. Este panorama ratifica lo expuesto, porque esta variable arrojó los valores más altos en el mismo año 2013 y la misma marea alta soportando la directa proporcionalidad y linealidad entre sólidos disueltos y la conductividad pues, al incrementar una aumenta la otra.

El panorama descrito, concuerda con IIAP (2013), quien presentó un comportamiento similar para el caso de la conductividad y sólidos disueltos en la bahía de Buenaventura encontrándose los mayores aportes en marea alta (Figura 4).

De modo semejante, la turbiedad y los sólidos suspen-

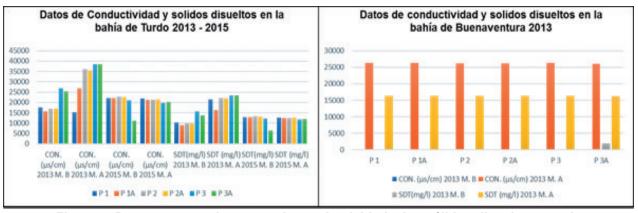


Figura 4. Datos comparativos entre la conductividad y los sólidos disueltos para la bahía de Turbo y Buenaventura en 2013-2015.

didos presentaron un comportamiento similar, porque el aumento de una generó un incremento de la otra. La turbiedad en 2013 fluctuó entre 21, 130 FAU en marea baja y 15, 52 FAU en marea alta, y los sólidos suspendidos entre 24,150 mg/l en marea baja y 13,62 mg/l en marea alta. En el 2015 la turbiedad varió entre 24,304 FAU en flujo y 18,1000 FAU en reflujo y los sólidos suspendidos entre 21,333 mg/l en flujo y 16,750 mg/l en reflujo, siendo los valores más elevados para ambas variables durante 2015 en el punto 2A para el caso de las dos mareas, esto posiblemente por el aumento de grandes cantidades de arena, fango, arcilla, materiales orgánicos y residual en suspensión coloidal, contexto que concuerda con Mitchell et al. (1991), Seoánez y Angulo (1999) y Crites y Tchobanoglous (2000), quienes manifiestan que la turbiedad y los sólidos en suspensión están relacionados con las proporciones de arcillas, limos, materia orgánica, plancton y hasta desechos industriales y de drenaje que puedan o no presentar un cuerpo de agua. Cabe mencionar que, en niveles altos de turbidez el agua pierde la habilidad de apoyar la diversidad de organismos acuáticos, aumenta la temperatura al sostener partículas que absorben el calor de la luz solar y el agua caliente conserva menos oxígeno que el agua fría, así al entrar menos luz disminuye la fotosíntesis necesaria para producir oxígeno.

En este sentido, el oxígeno disuelto como

elemento importante e indispensable para el desarrollo de las comunidades biológicas y por tanto productividad de la bahía de estudio, osciló entre 3,7,7,6 mg/l y 2,4,5,2 mg/l para marea baja y alta en el 2013 y entre 1,5, 5,8 mg/l y 1,8, 9,4 mg/l bajo la misma condición en el 2015, demostrándose durante los dos períodos y en los puntos 1 y 1A la persistencia de aguas poco oxigenadas que no favorecen el desarrollo de las comunidades biológicas al interior de la misma, situación que obedece a la presencia de gran cantidad de material orgánico en el agua consumiendo este elemento, a la poca aireación del sistema, a las características lénticas del mismo y a la cantidad de residuos sólidos provenientes de las actividades humanas. Lo anterior es soportado por Payne (1986), quien manifiesta que aguas con estas características produce una notable disminución del oxígeno disuelto, lo que a su vez tiene un significado negativo frente al desarrollo de procesos biológicos, porque una gran cantidad de la biota presente en este tipo de ecosistemas dependen del oxígeno para sobrevivir. Esta situación denota una clara necesidad de definir e implementar medidas orientadas a reducir la cantidad de residuos que son vertidos a las fuentes hídricas continentales como el Waffe y los ríos urbanos, que finalmente vierten a aguas costeras y estuarinas afectando la estabilidad de todo el sistema, lo que se evidencia con la observación y análisis del comportamiento de la concentración de esta variable desde la bahía hacia el caño, presentando una notable disminución como respuesta a la presión sobre el recurso.

Aunado a lo anterior, la presencia de gran cantidad de sólidos incrementa los nutrientes en el agua, ocasionando un sobrecrecimiento excesivo de las algas, quienes al morir se depositan en el fondo del cuerpo de agua y se descomponen creando malos olores y por tanto disminución del oxígeno. Del mismo modo el aumento de la temperatura y la salinidad entre otras afectan la capacidad del agua para disolver el oxígeno, situación que fue evidente en el área de estudio. En consecuencia, con lo ya expuesto, el oxígeno disuelto se encontró por debajo de los parámetros permisibles para preservación de flora y fauna según el Ministerio de Agricultura (1984), Lenntech (2007) y Stevens Institute of Technology (2006), quienes expresan que aguas con concentraciones <4 mg/l no son benéficas para el desarrollo de las comunidades biológicas.

No obstante, los valores más altos de oxígeno disuelto para el caso de los dos años se evidenciaron en los puntos 3 y 3A, esto posiblemente por el aumento de la corriente y el volumen de agua que genera una dilución del material orgánico entre otros presentes en el agua, que pudieran consumir este elemento, de ahí que en estos puntos de muestreo el agua presente mayores concentraciones de oxígeno y esté apta para el desarrollo de la fauna y flora según lo estipulado por la norma (>4 mg/l).

El pH por su parte varió entre 8,1, 9,1 y 7,4, 8,1 para marea baja y alta en el 2013 y entre 6,7, 6,9, y 6,1, 6,4 para flujo y reflujo en el 2015. Se observa que para ambos períodos esta variable tiende a la alcalinidad lo cual es propia de este tipo de ecosistema y pudiera no afectar el desarrollo de la vida acuática. Sin embargo, teniendo en cuenta lo que estipula el Decreto 1594 para el desarrollo de la fauna y flora en agua de mar o estuarina, en donde el pH debe estar entre 6,5 y 8,5, se manifiesta que todos los datos obtenidos

en el 2015 cumplen con esta condición, contrario al 2013 donde los puntos 2 y 2A sobrepasan este límite establecido.

Lo expresado difiere con ABS (1994), quien aduce que la mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos pues, un pH muy ácido o muy alcalino puede indicar contaminación industrial.

El porcentaje de salinidad osciló entre 9,2%, 17,1% y 15,9%, 22,7% para flujo y reflujo en el 2013 y entre 10%, 12,1% y 10,5%, 11,5% para la misma condición en 2015. Estos valores concuerdan con Madrigal et al. (1985), quienes expresan que valores óptimos de salinidad en agua de mar se dan hasta el 25%, lo cual es benéfico para el buen desarrollo de algunas especies acuáticas. La homogeneidad en la distribución de la salinidad en los diferentes puntos evaluados, tanto en marea alta como en marea baja para ambos períodos (2013 y 2015), pudo estar relacionada con volúmenes constantes de aguas residuales vertidas y de gran magnitud, lo que sugiere además un patrón de mezcla que es dominado más por la temperatura que por la salinidad, lo cual se evidencia además por los datos obtenidos de esta última.

De otro lado el sulfato durante el 2013 fue constante en todos los puntos de muestreo para ambas mareas pues arrojó valores >80 mg/l demostrando niveles que no afectan el desarrollo de la vida acuática. Sin embargo, vale la pena mencionar que un alto contenido de sulfatos puede obedecer a aportes de contaminantes y generar efectos negativos en el medio sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio. Durante el 2015 las concentraciones de esta variable fueron más elevadas (951, 1.080 mg/l en marea baja y 701, 1.013 en marea alta), posiblemente por los aportes de contaminantes provenientes del caño Waffe. A este respecto Carrizo (2008), expresa que los valores de sulfato no deben ser superior a 500 mg/l. Es de notar que las altas concentraciones

de esta variable son muy comunes en ambientes marinos (Flores *et al.* 2014).

Por su parte, los nitratos variaron entre 7,6, 110,49 mg/l y 143,54, 158,92 mg/l para flujo y reflujo en el 2013 y entre 2,5, <0,03 mg/l y <0,03 mg/l,>0,30 mg/l bajo la misma condición durante el 2015, denotándose las concentraciones más altas durante el 2013, lo que evidencia la presencia de aguas residuales domésticas e industriales, en donde el nitrógeno está presente por lo general como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se transforma por oxidación en nitritos y nitratos. Estas concentraciones tan elevadas de nutrientes muestran un agua eutrofizada que no es benéfica para el desarrollo de las comunidades biológicas al interior del ecosistema, situación que se agrava si se observa que la concentración de nitratos más alta se presentó a más de 200m en reflujo, indicando un considerable alcance de los contaminantes que ingresan a la bahía a través del caño, teniendo en cuenta que durante esta fase el agua va en dirección bahía-caño, generando que por acción de las corrientes este tipo de materiales incrementen su disponibilidad de suspensión en el agua, afectando procesos físicos y biológicos en el ecosistema, como producto de la consecuente alteración de variables como temperatura, turbiedad y transparencia entre otros que alteran de manera directa los procesos fotosintéticos y la productividad del sistema. A este respecto Rodríguez (2012), indica un valor máximo permisible para el nitrato de 50 mg/l para el establecimiento y conservación de organismos acuáticos.

De conformidad con lo anterior, los nitritos presentaron un comportamiento similar, porque en general las concentraciones más altas se encontraron durante el año 2013 (0,065, 0,299 mg/l y 0,062, 0,133 mg/l, para marea baja y alta) siendo esta la forma de menor concentración de nitrógeno al interior del agua, lo que apenas es lógico si se tiene en cuenta que los nitritos son menos estables que los nitratos en aguas super-

ficiales y por lo general se encuentran en bajas concentraciones. Autores como Kadlec y Knight (1996) y Stummy Morgan (1973), indican que estos elementos son iones que existen de manera natural, en bajas concentraciones y no superan los 0,1 mg/l, lo que a su vez contribuye positivamente en las comunidades biológicas. No obstante, en el punto de intersección entre el caño Waffe y la bahía se arrojaron valores que superan este rango indicando la presencia de descargas contaminantes de origen doméstico e industrial, además de un ecosistema eutrofizado a gran escala.

Los fosfatos que se presentan de forma soluble en organismos acuáticos oscilaron entre 0,61, >2,75 mg/l y 0,51, >2,75 mg/l, tanto para marea baja como alta en 2013 y entre 0,65, >2,5 mg/l y 0,37, >2,5 mg/l para flujo y reflujo en 2015. Lo que en términos generales demuestra valores más elevados en el punto de confluencia entre el caño Waffe y la bahía para ambos períodos, obedeciendo esto a los aportes de materia orgánica que pueden generar su incremento y a su vez limitar la productividad primaria al aumentar el crecimiento de biota fotosintética en el agua.

Para el caso de los coliformes fecales, arrojaron valores comprendidos entre 1.700, 500'000.000 NMP y 3.300, 28'000.000 NMP en marea baja y alta en el 2013 y entre > 1,8,79.000 NMP y 13.000, 34.000 NMP para la misma condición de marea baja y alta en el 2015. En general, los valores más elevados de esta variable se encontraron en el punto 1A para ambos períodos; sin embargo, a lo largo del sistema, los datos más altos se reportaron en el 2013, seguramente como consecuencia del vertimiento de aguas residuales domésticas y sanitarias a través de fuentes puntuales y sistemas de alcantarillado cuyo punto de disposición final son las fuentes hídricas urbanas y el Waffe, los cuales depositan en la bahía grandes cantidades de heces y otros materiales orgánicos sin tratar, generando contaminación fecal en el agua que tiene graves impactos ambientales relacionados con su contribución al crecimiento de algas y

malezas acuáticas, que favorece la reducción de los niveles de oxígeno y el bloqueo del flujo continuo de agua afectando negativamente el desarrollo óptimo de las comunidades biológicas en su interior y la productividad del sistema como se evidenció en la zona de estudio.

De manera general todos los valores arrojados son elevados, si se tienen en cuenta que están por encima de los parámetros permisibles para la destinación del recurso a contacto primario, el cual según el Decreto 1594/84 no debe superar los 200 NMP/100 ml. En este contexto, los impactos esperados en el ecosistema son diversos y principalmente de tres tipos: salud pública, ambientales y ecológicos, por los efectos que estos microorganismos generan en la salud de las personas a través del contacto directo o al contaminar especies de uso alimenticio; también generan un deterioro visual cuando la dilución es insuficiente y a nivel ecológico la materia orgánica que acoge estas bacteria se descompone aeróbicamente, lo que puede disminuir los niveles de oxígeno y causar la muerte de peces y otros organismos de la vida silvestre que dependen de él.

Pese a que la normatividad colombiana no establece una concentración límite de coliformes fecales dentro de los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso a preservación de flora y fauna, en aguas marinas o estuarinas, sí establece claramente que este tipo de sistemas hídricos no deben presentar sustancias que afecten los tejidos de los organismos acuáticos o interfieran con la actividad fotosintética. En este sentido las concentraciones de coliformes encontradas en el sistema bahía-caño, indican condiciones críticas que junto con la presencia de otras sustancias en exceso como nutrientes y grasas le confieren condiciones eutróficas al sistema, lo que implica una afectación en el proceso fotosintético del cual depende la productividad de este, sugiriendo la necesidad de establecer medidas de manejo que minimicen la cantidad de materiales contaminantes que son vertidos diariamente.

Las concentraciones obtenidas de coliformes totales dan cuenta de otras cargas que ingresan a la bahía, que además representan un gran aporte a la contaminación de esta, porque en el 2013, oscilaron entre 9.200, 3.400'000.000 NMP y 18.000, 240'000.000 NMP para flujo y reflujo y en el 2015 entre 1.100, 920.000 NMP y 49.000, 280.000 NMP para marea baja y alta, siendo los valores más altos en el 2013 para el punto 3A.

Finalmente, las grasas y aceites como indicadoras de contaminación en el medio acuático presentaron un comportamiento constante durante el 2015 al reportarse datos < 9 mg/l tanto en marea baja como en marea alta para todos los puntos de muestreo, contrario al 2013 donde las fluctuaciones fueron más elevadas (62,9, 119,4 mg/l y 47,3, 180,9 mg/l para marea baja y alta). Esta situación obedece a los aportes contaminantes de productos oleosos, lubricantes, combustibles de las diferentes embarcaciones que se transportan en este medio acuático junto con las diferentes actividades antrópicas y domésticas realizadas por los habitantes en la zona de influencia de todo el sistema hídrico, el cual afecta la calidad del recurso a nivel estético, físico y biológico.

En síntesis, las concentraciones arrojadas por esta variable durante los dos períodos, se encuentran por encima de los parámetros permisibles para conservación de flora y fauna que según el Decreto 1594/84, no debe superar 0,01 mg/l, porque este tipo de materiales crean una capa sobre la superficie del agua, debido a sus características de baja densidad, poca solubilidad en agua y baja o nula biodegradabilidad, que ocasiona graves efectos en el medio acuático, los cuales según Toapanta (2009) están asociados con la interferencia, con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera, impidiendo el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO, del agua hacia la atmósfera, lo que pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con los niveles bajos del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar y por tanto afectar el proceso

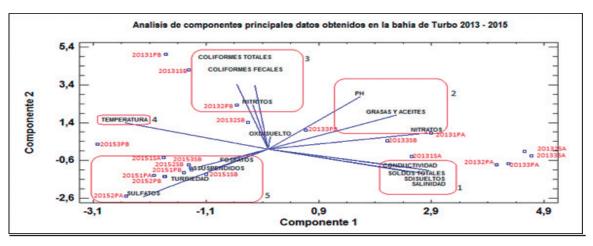


Figura 5. Análisis de componentes principales de los datos de la bahía de Turbo 2013-2015.

fotosintético y la sostenibilidad del ecosistema.

En términos generales, la interpretación de los datos obtenidos tanto en el 2013 como en el 2015, permiten manifestar que la bahía de estudio se encuentra perturbada por los diferentes aportes contaminantes del caño Waffe y otras fuentes hídricas continentales urbanas; sin embargo, se evidencia una mayor afectación para el año 2013. Lo expuesto no solo se soporta al considerar las explicaciones a lo largo del manuscrito, sino también con los resultados de la Figura 5.

De acuerdo con los resultados de análisis de componentes principales, en el factor 2 se observa una alta contaminación para el año 2013 en los puntos más influidos por el caño Waffe, lo cual resulta lógico si se tiene en cuenta que en estos hay más presencia de asentamientos humanos que dan lugar a elevada concentración de coliformes fecales y totales. Sumado a esto, en el factor 2 también se evidencian para el mismo año, aportes contaminantes en el punto 1 para el caso de reflujo, lo cual se refleja en grandes descargas de sólidos y conductividad. En síntesis, la Figura 6 permite manifestar que en los factores 1, 2 y 3 se agrupa la mayor parte de variables fisicoquímicas indicadoras de contaminación en año el 2013. De ahí que sea en este año donde se presentaron mayores aportes contaminantes a la bahía de Turbo.

De otro lado, los fosfatos, turbiedad y sólidos

suspendidos muestran una importante asociación a lo largo de los puntos de muestreo durante el año 2015, lo cual puede estar asociado con los desechos sólidos, contaminantes de tipo orgánico y químico, además, de productos oleosos que junto con gran cantidad de sedimento llegan a la bahía a través de fuentes continentales urbanas como el caño Waffe que pudieron generar un incremento en estas.

#### Conclusiones

La evaluación de la calidad fisicoquímica de la bahía de Turbo teniendo en cuenta los períodos 2013 y 2015, permiten manifestar que en ambos años se encontraron condiciones que restringen el desarrollo de las comunidades biológicas al interior del agua, sobre todo en los puntos más influidos por el caño; sin embargo, un aumento en las concentraciones de algunas variables fisicoquímicas indicadoras de contaminación como los coliformes fecales y totales, los sólidos, las grasa y aceites, juntos algunos nutrientes como el nitrato y el nitrito, dan lugar a un mayor aporte de contaminantes a la bahía para el año 2013, lo cual genera una mayor afectación en la flora y fauna porque el medio acuático se encuentra en un alto grado de contaminación originado por las grandes descargas de residuos domésticos, portuarios e industriales, producto de las actividades realizadas en el área de influencia del caño Waffe, entre otras fuentes hídricas urbanas, que luego vierten sus aguas a la bahía de Turbo.

Teniendo en cuenta la gran importancia no solo de la bahía de Tubo sino también del caño Waffe, tanto para las especies acuáticas y las poblaciones humanas porque este es uno de los principales medios de acceso a diversidad de productos comercializados local y regionalmente, es necesario que se continúen realizando estudios encaminados a la implementación de estrategias que permitan una reducción en la carga contaminante que llega a la bahía a través de las fuentes hídricas continentales como una estrategia orientada a la conservación de la bahía de Turbo. Se recomienda diseñar e implementar planes de manejo ambiental con las actividades productivas desarrolladas en el área de influencia de la red hídrica, fortalecimiento de los sistemas de saneamiento en los centros urbanos, así como realizar monitoreos de calidad de agua, no solo en el caño Waffe sino en las principales fuentes hídricas que confluyen a este y a la bahía, las cuales aportan gran cantidad de contaminantes que afectan la calidad de la misma evidenciado una notable disminución en la productividad del ecosistema.

#### Literatura citada

- ABS (Annual Book of Standards). 1994. Standard test methods for pH of water. ASTM D1293-84 (1990). American Society for Testing and Materials International. Disponible en: <a href="https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D1293-84R90.htm">https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D1293-84R90.htm</a>
- Cicin-Sain B, Vandeweerd V, Bernal PA, Williams LC, Balgos MC. 2006. Meeting the commitments on oceans, coasts, and small island developing status made at the 2002 world summit on sustainable development: how well are we doing? Paris: Global Forum on Oceans, Coasts and Islands Co-Chairs' Report. Volume 1. Third Global Conference on Oceans, Coasts, and Islands: Moving the Global Oceans Agenda Forward UNESCO, January 23-28; 65 pp. Disponible en: <a href="http://udspace.udel.edu/handle/19716/2508">http://udspace.udel.edu/handle/19716/2508</a>

Carrizo R. 2008. Lineamientos y metodología a aplicar para

- la definición de "presupuestos mínimos" en materia de control de la contaminación hídrica. Situación Ambiental de Argentina PROGRAMA PRODIA; 30 pp.
- Crites R, Tchobanoglous G. 2000. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Bogotá: McGrawHill; 701 pp.
- Flores F, Agraz C, Benítez D. 2014. Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación. *Conservación y restauración:* 147-66. Disponible en: <a href="http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/libros/533/ecosistemas2.pdf">http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/libros/533/ecosistemas2.pdf</a>
- GESAMP reports and studies. 2001. Protecting the oceans from land-based activities. Land-based sources and activities affecting the quality and uses of the marine, coastal and associated freshwater environment. IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/AIEA/UN/UNEP. Joint Group of Experts on theScientific Aspects on Marine Environmental Protection. Disponible en: <a href="http://www.jodc.go.jp/info/ioc\_doc/GESAMP/report71.pdf">http://www.jodc.go.jp/info/ioc\_doc/GESAMP/report71.pdf</a>
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico. 2013. Evaluación fisicoquímica y ecológica de aguas costeras en la bahía de Buenaventura como instrumento de análisis de los aportes contaminantes del río Dagua, municipio de Buenaventura, Valle. Quibdó: IIAP; 14 pp. Disponible en: <a href="https://siatpc.iiap.org.co/docs/avances/evaluacion\_fisicoquímica\_y\_ecologica\_de\_aguas\_costeras\_en\_la\_bahia\_de\_buenaventura.pdf">https://siatpc.iiap.org.co/docs/avances/evaluacion\_fisicoquímica\_y\_ecologica\_de\_aguas\_costeras\_en\_la\_bahia\_de\_buenaventura.pdf</a>
- Kadlec RH, Knight RL 1996. Treatment wetlands. *In:* Vymazal J (ed.). *Transformactions of nutrients in natural and construted wetlands*. Boca Raton: CRC Press/Lewis Publishers; 893 pp.
- Lerman A. 1981. Controls on river water composition and the mass balance of river systems. *In: Sesion lof river inputs to ocean systems*. Taller de Trabajo. ACMRR/ SCOR/GESAMP-Rios, FAO, Roma 26-30 de marzo de 1979. New York: UNESCO-COI/PNUMA, Naciones Unidas.
- Lenntech BV. 2007. *Agua residual y purificación del aire*. Disponible en: <a href="http://www.lenntech.com/espanol">http://www.lenntech.com/espanol</a>
- Madrigal E, Pacheco O, Zamora E, Quesada R, Alfaro J. 1985. Tasa de filtración el ostión de manglar (*Crassostrea rhizophorae*, Guilding 1828), a diferentes salinidades y temperatura. *Rev. Biol. Trop. 33 (1):* 77-9. Disponible en: <a href="https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/24510/24708">https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/24510/24708</a>
- Málikov I, Villegas NL. 2005. Construcción de series de tiempo de la temperatura superficial del mar de las zonas homogéneas del océano Pacífico colombiano. *Bol Cient CCCP. 12:* 79-93. Disponible en: <a href="http://cecoldodigital.dimar.mil.co/412/1/dimarcccp\_2005\_boletincccp\_12\_79-93.pdf">http://cecoldodigital.dimar.mil.co/412/1/dimarcccp\_2005\_boletincccp\_12\_79-93.pdf</a>
- Mitchell M, Stapp W, Bixby K. 1991. Manual de campo de

#### Calidad fisicoquímica del agua de la bahía de Turbo. Y Murillo Hinestroza et al.

- Proyecto del Río: una guía para monitorear la calidad del agua en el río Bravo. 2ª ed. New Mexico: Proyecto del Río; 200 pp.
- Ministerio de Agricultura. 1984. *Decreto 1594 de 1984*. Bogotá: MinAgricultura; 55 pp. Disponible en: <a href="http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617">http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617</a>
- Payne AI. 1986. *The ecology of tropical lakes and rivers*. Chichester: John Wiley & Sons; 301 pp. Disponible en: <a href="https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/i-payne-1986-the-ecology-of-tropical-lakes-and-rivers-john-wiley-sons-chichester-301-pages-isbn-0471905240-price-2900-hardback/B7E9790C4083274AEC338E66DF359240
- Rico JM, Fredriksen S. 1996. Effects of environmental factors on net photosynthesis and growth of intertidal species of the genus *Gelidium* (Gelidiaceae, Rhodophyta) in northern Spain. *Scientia Marina*. 60 (2-3): 265-73. Disponible en: <a href="http://scimar.icm.csic.es/scimar/index.php/secId/6/IdArt/2790/">http://scimar.icm.csic.es/scimar/index.php/secId/6/IdArt/2790/</a>

- Rodríguez DE. 2012. Distribución de Enterococos como indicadores de contaminación fecal en aguas de la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano. *Rev Cubana Hig Epidemiol. 50 (2):* 136-48. Disponible en: <a href="http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S1561-30032012000200002">http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S1561-30032012000200002</a>
- Seoánez M, Angulo I. 1999. Ingeniería del medioambiente aplicada al medio natural continental: la contaminación del medio natural continental: aire, aguas, suelos, vegetación y fauna: tecnologías de identificación, lucha y corrección. 2ª ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa; 702 pp.
- Stevens Institute of Technology (SIT). 2006. *Demanda biológica de oxígeno*. New Jersey: SIT. Disponible en: <a href="http://www.k12science.org">http://www.k12science.org</a>
- Stumm W, Morgan JJ. 1973. Aquatic chemistry: An introduction emphasizing chemical equilibria in natural water. *Clean Soil Air Water. 1 (1):* 1-117.
- Toapanta M. 2009. *Calidad del agua: grasas y aceites*. Quito: Escuela Superior Politécnica del Litoral.