

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHAMBO EN ÉPOCA DE ESTIAJE UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA-NSF

Chambo river water quality assessment in time of stretching using the ICA-NSF water quality index

¹Rosario del Pilar Freire-Rosero, ²Marco Pino-Vallejo*, ²Patricia Andrade, ²Ana Mejía-López

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

²Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

*marcopinovallejo@hotmail.com

Resumen

El deterioro de las fuentes hídricas en el Ecuador es un problema ambiental producto principalmente de las descargas de aguas residuales. A este tipo de contaminación hídrica se lo relaciona con el deterioro de los ecosistemas pero el tema también es de salubridad. Las altas concentraciones de material orgánico e inorgánico disuelto en los caudales de los ríos y su uso en el regadío de cultivos y abrevaderos ponen en riesgo la salud humana. En el cantón Chambo-Ecuador (altura 2780 m), el 12,95 % de la superficie total es tierra agrícola y su fuente de regadío es el río Chambo. La red de alcantarillado de este cantón descarga sus aguas residuales al río sin previo tratamiento. Para determinar las condiciones del agua del de éste río, se utilizó el Índice de Calidad de Agua ICA NSF. Se realizaron análisis de laboratorio fisicoquímico y microbiológico del agua del río, antes y después de las descargas de agua residual. La investigación se efectuó en época de estiaje para conocer la calidad del agua cuando existe menor capacidad de autodepuración. Los resultados de laboratorio y la ponderación con el método ICA NSF, determinaron que el agua del río Chambo es de mala calidad incluso antes de ser contaminadas con aguas residuales con un índice de calidad de 45,40% determinándose que el agua del río no es apta para ser utilizada para el riego de cultivos.

Palabras clave: efluente, calidad de agua, caracterización, contaminación

Abstract

The problem of water sources in Ecuador is an environmental problem mainly due to wastewater discharges. This type of water pollution is related to the displacement of ecosystems but the issue is also health. The high amounts of organic and inorganic material dissolved in river flows and their use in irrigated crops and watering can endanger human health. In the canton Chambo-Ecuador (height 2780 m), 12.95% of the total area is agricultural land and its source of irrigation is the Chambo river. The sewer network of this canton discharges its wastewater to the river without prior treatment. To determine the water conditions of this river, check the ICA NSF Water Quality Index. Analysis of physicochemical and microbiological laboratory analysis of river water, before and after wastewater discharges. The research is carried out during the dry season to know the water quality when there is less capacity for self-purification. The laboratory results and the weighting with the ICA NSF method, determined that the water of the Chambo river is of poor quality even before being contaminated with wastewater with a quality index of 45.40% determining that the river water is not Suitable to be used for crop irrigation.

Key words: effluent, water quality, characterization, pollution.

Fecha de recepción: 25-10-2019

Fecha de aceptación: 27-01-2020

I. INTRODUCCIÓN

En la República del Ecuador, prácticamente todos los sistemas fluviales nacen en el páramo y los sistemas de riego, agua potable e hidroelectricidad dependen, en gran medida, de su capacidad de regulación hídrica (1).

El recurso hídrico en el Ecuador tiene un problema recurrente debido a que se descargan diariamente 2,30 millones de litros de aguas residuales a los cauces de ríos (2). El estudio de la calidad del agua y en especial, de aquellas aguas destinadas al uso o consumo humano, resulta imprescindible para garantizar su buen estado y la seguridad de todas aquellas personas que se benefician de su aprovechamiento, así como también, para mantener la biodiversidad de las especies que habitan en su entorno (3).

En la provincia de Chimborazo el principal sistema hidrográfico lo constituye el río Chambo con sus afluentes los ríos Guamote, Chibunga, Guano, Sicalpa, San Juan y Blanco (4).

Dentro del área de estudio, el afluente más cercano es el río Chibunga que recibe las aguas residuales de la ciudad de Riobamba antes de confluir con el río Chambo. En el estudio “Evaluación de localidad del agua del río Chambo en el tramo comprendido de la unión del río Chibunga hasta Cahuaji Bajo, Provincia de Chimborazo”, se expone que en la confluencia del río Chibunga en el río Chambo el Índice de Calidad de Agua es 58,14% considerada calidad media y sobresaliendo el parámetro coliformes fecales con 816.666,75 NMP/100ml, para concluir que el agua del río Chibunga no es recomendable para uso de riego (5).

De igual manera en el estudio “Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Chibunga-Ecuador en variaciones estacionales, periodo 2013-2017”, concluye que el índice de Calidad del Agua del río Chibunga es de 54% considerada calidad regular y que el parámetro coliformes fecales es alto con un valor de 30.000 NMP/100ml en época seca, considerando que el uso para el riego en cultivos y abrevaderos es muy grave, por su afectación que podría tener en

la salud humana, animal y alteración de los niveles tróficos (6).

El cantón Chambo se encuentra dentro de la jurisdicción de la provincia de Chimborazo, Ecuador (765200 E; 9810613 N, altura 2780 m), tiene una superficie de 163 km² cuenta con 4.459 habitantes en el área urbana y 7.426 habitantes en el área rural. El 46 % de la población se dedica a las actividades de agricultura. El 67% de viviendas poseen servicio de alcantarillado mientras que el 33% cuentan con letrinas y fosas sépticas (7). La cabecera cantonal Chambo no dispone de una planta de tratamiento de aguas residuales, por lo cual, éstas se descargan directamente al río Chambo.

La fertilidad del suelo del cantón ha permitido una explotación agrícola intensiva por lo que al cantón Chambo se le conoce como “La Señora del Agro”. La superficie de territorio destinada a la agricultura es de 279,74 hectáreas, destacándose la producción conjunta de brócoli, coliflor, cilantro y remolacha, en un 60,80%; seguido de tomate riñón en 6,40% y fréjol en 4,00%, también se destaca la productividad agrícola de col y lechuga en un 8,80%, zanahoria y papas con 6,40%; choco y arveja 5,60%, cebolla paiteña 0,80%; tomate de árbol 1,60%; variedades de otros cereales (maíz, avena y cebada) con un 5,60% (8).

Parte de la producción es destinada para abastecer la demanda local, provincial y de otras ciudades como Ambato, Quito y Guayaquil (9). El 57,11% de abastecimiento de agua para el riego de los cultivos proviene de los ríos, principalmente del río Chambo (10).

Con estos antecedentes, el objetivo del estudio es valorar la calidad del agua del río Chambo en época de estiaje mediante el método ICA NSF.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para establecer los puntos de muestreo del agua del río Chambo, primero se ubicaron geográficamente las 3 tuberías de descarga de agua residual generada en el cantón Chambo para delimitar las distancias en un espacio de 9 km., a lo largo del margen derecho del río.

Medida del caudal: El cálculo del caudal del agua residual viene expresado por la ecuación de continuidad expresada en la ecuación (11):

$$Q=v*A \text{ (1)}$$

Q: Caudal (m³/s)

v: Velocidad (m/s)

A: Área de la sección transversal de la tubería (m²)

Muestreo Compuesto: Para caracterizar el agua del río y de los efluentes se aplicó el método de muestreo compuesto, que es la resultante de la mezcla de un número determinado de muestras simples. Tomando en consideración que el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma (12). Para realizar el muestreo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen muestra } i = \frac{\text{Volumen total muestra compuesta} * \text{caudal de la muestra } i}{\text{Caudal promedio} * \text{Número de muestras simples}} \text{ (2)}$$

Para el efecto se tomaron muestras simples a intervalos constantes de tiempo de 2 horas y almacenadas apropiadamente en un sistema de refrigeración hasta el final del periodo del muestreo. Las muestras simples se mezclaron en proporciones directas al caudal aforado en cada instante de muestreo. Los recipientes de muestreo fueron identificados con una etiqueta con la fecha del muestreo, nombre de la fuente, sitio del muestreo, tipo de muestra, hora de muestreo y el reactivo utilizado para preservar la muestra (13).

Puntos de Muestreo: En el sector El Vergel

(765287 E; 9806988 N, altura 2617 m), a un kilómetro aguas arriba de la primera descarga de agua residual, se ubicó el Punto 1 y se tomó una muestra compuesta del caudal del río con el objetivo de establecer la calidad del agua antes de ser contaminada.

En el sector San Pedro del Quinto (765385 E; 9807269 N, altura 2728 m) se encuentra la primera descarga de agua residual con un caudal de 6,38 l/s, identificándose el Punto 2, donde se tomó una muestra compuesta del efluente.

A una distancia de 3 Km., en el sector Jesús del Gran Poder (765850 E; 9809057 N, altura 2722 m), se ubica la segunda descarga de agua residual con un caudal de 0,37 l/s, a la que se identificó como el Punto 3 en donde se procedió a tomar una muestra compuesta del efluente.

Recorridos 4 Km., en el sector Llio (765636 E; 9809830 N, altura 2641 m), se identificó la tercera descarga de agua residual con un caudal de 4,89 l/s, se le identificó como Punto 4, lugar en donde se tomó una muestra compuesta del efluente.

Pasado 1 Km., en el sector San Jorge (765200 E; 9810613 N, altura 2587 m), se estableció el Punto 5 en donde se tomó una muestra compuesta del agua del río, con la finalidad de establecer la calidad del agua luego de ser contaminada.

En la Figura 1, se ilustra la distribución espacial de los puntos de muestreo.

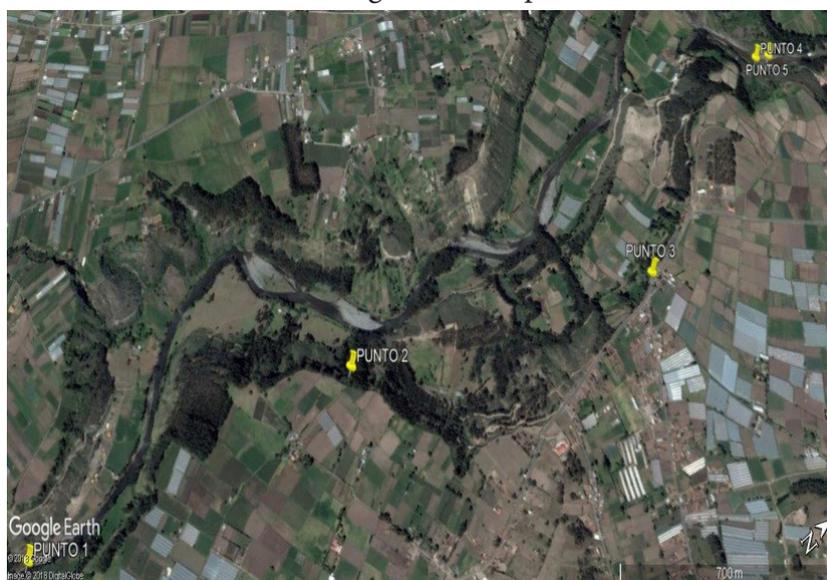


Figura 1. Mapa de los puntos de muestreo

Toma de muestras: El muestreo del agua del río Chambo, se efectuó en el mes de marzo, época de estiaje con el fin de conocer la calidad del agua en bajo caudal (14).

En los puntos 1 y 5, se tomaron individualmente dos muestras simples del agua del río a las 10h00 y 16h00, las mismas que fueron mezcladas complementando 2000 ml/día en cada punto.

Para el muestreo de los puntos de descarga de agua residual 2,3 y 4 se tomaron 9 muestras simples de 1000 ml., a las 05h00, 07h00, 09h00, 11h00, 13h00, 15h00, 17h00, 19h00 y 21h00, con el objetivo de tener muestras compuestas representativas de 4000 ml/día.

Los análisis físico-químicos y microbiológicos fueron realizados por el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo. Los métodos utilizados fueron del Standard Methods 21^a Edición y métodos HACH adaptados del Standard Methods 21^a Edición.

Método ICA-NSF: La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles (15-17). El ICA NSF, es una herramienta útil para la evaluación de la calidad del agua; favorece la evaluación del riesgo sanitario, ya que los resultados son más sensibles a variaciones en la calidad del agua y evitan el fenómeno de eclipsamiento que se presenta cuando se calcula un valor satisfactorio, aunque uno o varios de los parámetros que conforman el índice presenten alteración (18).

La cuantificación científica resulta importante en el desarrollo de las bases científicas para el manejo de los recursos hídricos (19).

Los índices de calidad ICA NFS, son básicamente en una expresión matemática simple, de la combinación de un número de parámetros físico-químicos y/o microbiológicos, los cuales sirven como medida de la calidad del agua para diferentes usos (20, 21). Para el cálculo del ICA NSF se utilizan los promedios geométricos ponderados expresados en la siguiente ecuación:

$$ICA_m = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \quad (3)$$

W_i : peso o porcentaje asignado al i -ésimo parámetro

I_i : Subíndice de i -ésimo parámetro

Se recomienda seleccionar los parámetros de las cinco categorías más comúnmente reconocidas: nivel de oxígeno, eutrofización, aspectos de salud, características físicas y sustancias disueltas (22). La asignación de pesos (ponderación) de cada parámetro tiene mucho que ver con la importancia de los usos pretendidos y la incidencia de cada variable en el índice (23). De acuerdo con Sacha y Espinoza (2001), en el caso del ICA NSF, aplicables a aguas superficiales el mayor peso debe ser otorgado a los parámetros como se expresa en la Tabla 1 (24).

País	Estados Unidos	Frecuencia
Índice	ICA NSF 1970	
Parámetro		
Oxígeno Disuelto	X	0,70
Potencial de Hidrógeno	X	0,70
Demanda Bioquímica de Oxígeno	X	0,60
Nitratos	X	0,50
Coliformes Fecales	X	0,50
Temperatura	X	0,40
Turbiedad	X	0,40
Sólidos Disueltos Totales	X	0,40
Fosfatos	X	0,10

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos ICA NSF

Para la calificación de la calidad del agua se considera la escala del ICA-NSF que se expresa en la Tabla 2 (25).

Rango (%)	Calidad
91 - 100	Excelente
71 - 90	Buena
51 - 70	Media
26 - 50	Mala
0 - 25	Muy mala

Tabla 2. Escala de clasificación del ICA NSF

III. RESULTADOS

Los resultados se presentan en dos momentos: 1) El análisis de las descargas de agua residual generadas en el Cantón Chambo; y 2) El análisis de las

aguas del río Chambo.

Análisis de las descargas de agua residual del Cantón Chambo: Para identificar el grado de afectación de las descargas de agua residual en el

río Chambo, se realizó el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos considerados para el método ICA NFS. Los resultados se exponen en la Tabla 3.

Parámetro	Unidades	Puntos de Muestreo				
		Resultados del agua del río Chambo antes de las descargas de agua residual	Resultados de descargas de agua residual			Resultados del agua del río Chambo después de las descargas de agua residual
		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Oxígeno Disuelto	mg/l	55,33	123,33	616,00	209,33	109,33
Potencial de hidrógeno	pH	7,60	7,11	7,18	7,47	7,56
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	26,27	103,33	549,67	186,63	95,53
Nitratos	mg/l	2,27	2,98	5,25	3,43	1,76
Coliformes Fecales	UFC/ml	1.193,33	18.766,67	21.000,00	4.573,33	1.133,33
Temperatura	° C	17,87	16,36	19,13	16,97	17,83
Turbiedad	NTU	30,50	1,20	24,10	27,40	32,50
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	217,20	803,33	1224,00	349,33	287,87
Fosfatos	mg/l	0,50	1,60	2,23	1,45	1,43

Tabla 3. Análisis físicos-químicos y microbiológicos de los puntos de muestreo

El ingreso de agua residual al río Chambo en los Puntos 2, 3 y 4, afectan los valores de concentración de los Oxígeno Disuelto y Demanda Biológica de Oxígeno, Sólidos Disueltos Totales y fosfatos.

Análisis ICA – NSF del agua del río Chambo

Para la valoración de la calidad del agua del río

Chambo, aplicando el método ICA NSF, se seleccionó los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: Oxígeno Disuelto, Nitratos, Potencial de Hidrógeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Coliformes Fecales, Temperatura, Turbiedad y Sólidos Disueltos Totales como se expresa en la Tabla 4:

Parámetro	Índice de Calidad del Agua					
	Punto 1			Punto 5		
	Q-VALOR	W _i	TOTAL	Q-VALOR	W _i	TOTAL
Potencial de hidrógeno	92,00	0,12	11,00	91,00	0,12	10,90
Demanda Bioquímica de Oxígeno	6,00	0,10	0,60	2,00	0,10	0,20
Nitratos	88,00	0,10	8,80	95,00	0,10	9,50
Fosfatos	35,00	0,10	3,50	18,00	0,10	1,80
Temperatura	47,00	0,10	4,70	47,00	0,10	4,70
Turbidez	23,00	0,08	1,80	25,00	0,08	2,00
Sólidos disueltos Totales	20,00	0,08	1,60	60,00	0,08	4,80
Oxígeno Disuelto	35,00	0,17	6,00	36,00	0,17	6,10
Coliformes Fecales	0,80	0,15	0,10	0,60	0,15	0,10
Fosfatos	35,00	0,10	3,50	18,00	0,10	1,80
ICA NSF			48,60			42,20

Tabla 4. Índice de Calidad del Agua del río Chambo y parámetros físicos-químicos y microbiológicos.

Valorados Los rangos de calificación del Índice de Calidad de Agua se encuentran en 48,60% antes y 42,20% después de las descargas de agua residual, dando un promedio de 45,4% en el tramo de cause analizado.

IV. DISCUSIÓN

La ponderación del método ICA NSF, determina que el agua del río Chambo es de mala calidad antes de las descargas de agua residual. Este

resultado se corrobora mediante el análisis de los límites permisibles expresados en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Libro VI de la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes que rigen las políticas ambientales en el Ecuador y la Norma del Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN (26-28).

Es así que el parámetro Coliformes Fecales sobrepasa el límite de 1000 UFC/ml o 200 NM-P/100ml., para aguas dulces frías.

El Oxígeno Disuelto supera el valor máximo de 3 mg/l., para uso pecuario.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno se encuentra fuera del rango de 50 mg/l., para agua dulce.

V. CONCLUSIONES

En época de estiaje reduce la capacidad de autodepuración del río Chambo. El análisis físico-químico y microbiológico del agua del río un kilómetro antes de las descargas de agua residual determina que el agua del río llega del área de estudio con índices de contaminación. Los resultados de Coliformes Fecales en 1.193,33 UFC/ml., permiten interpretar que se trataría de descargas de agua residual doméstica.

La ponderación del método ICA NSF en el Punto de muestreo 1 antes de las descargas de agua residual, determina que el agua es de mala calidad con un índice de 48,60% reduciéndose a 42,20% en el Punto de muestreo 5 una vez que el río recibe el agua residual del Cantón Chambo.

R eferencias

1. Hofstede, R. (2003). Los páramos en el mundo: su diversidad y sus habitantes. En los páramos del mundo. Proyecto atlas mundial de los Páramos (Hofstede R., Segarra P., Mena P., eds). Global Peatland Initiative/NC-UICN/ EcoCiencia, Quito, Ecuador.
2. Calles, J. (2012). La contaminación del agua en Ecuador. Ecuador.
3. López, M.I y Palací, D.G. (2014). Estudio multivariante de la calidad del agua: Aplicación al río Júcar en el periodo 1990-2013”, Revista Electrónica de Medio Ambiente, vol. 15, N.º 1, pp. 37-52, 2014.
4. SENAGUA. (2013). Secretaría Nacional del Agua. Ecuador.
5. Erazo, L., (2015). Evaluación de localidad del agua del río Chambo en el tramo comprendido de la unión del río Chibunga hasta Cahuaji Bajo, Provincia de Chimborazo. Tesis de pregrado, pp. 28-29, Ecuador.
6. Veloz, N; Carbonel, C. (2018). Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Chibunga-Ecuador en variaciones estacionales, periodo 2013 - 2017. Rev. del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM, vol. 21, n° 42, 2018: 13-26, Ecuador.
7. Censo de Población y Vivienda Ecuador. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Ecuador.
8. Consultoría de Fortalecimiento de la Economía de Chambo. (2009). Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Chambo, Ecuador.
9. Huquillas, P. (2011). Proyecto de creación de un centro de acopio para el tratamiento y comercialización de la producción agrícola, de legumbres y hortalizas en el Cantón Chambo Provincia de Chimborazo. Proyecto de titulación previo a la obtención del Grado de magister en gestión de empresas mención Pymes. Escuela Politécnica del Ejército. Ecuador.
10. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Chambo (2014). Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Chambo, Ecuador.
11. Serway, R; Jewett, J. (2008). Física para ciencias e ingeniería. Volumen 1. Séptima edición. Ed. Cengage Learning, pp. 403-406, México.
12. CONAGUA (2008). Comisión Nacional del Agua. Procedimiento de muestreo, análisis y reporte de calidad de las aguas residuales. Norma Mexicana NMX-AA-003-1980, México.
13. Romero, J. (2004). Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño. 3ra. Ed. Bogotá-Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería, pp. 950, Colombia.

14. Rodríguez, C. y otros (2002). Variaciones estacionarias de la calidad de agua del río Chocancharava (río Cuarto), Córdoba, Argentina. *Ecología Austral*, 12(1), pp65-72.
15. N. Prat (1998). "Bioindicadores de calidad de las aguas," Memorias del curso de bioindicadores de Calidad del Agua., Medellín: Universidad de Antioquia, Colombia.
16. Valcarcel, L., Alberro, N., Frías, D. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente Año 9, No.16, 2009 ISSN-1683-8904, La Habana, Cuba.*
17. Yáñez, S. (2017). Evaluación de la Contaminación del agua mediante parámetros físico químicos en las desembocaduras de los principales afluentes y efluente del Lago San Pablo, Provincia de Imbabura. Ecuador
18. Torres F. (2009) Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico, Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez, pp. 10, 135, Puerto Rico.
19. Hakanson, L., Parparov A., Ostapenia, A., Boulion, VV., Hambright, KD. (2000). Development of a system of water quality as a tool for management. Final report to INTAS, Uppsala University, Department of Earth Science, pp. 19, Suecia.
20. Fernández, N., & Solano, F. (2005). Índices de calidad y de contaminación del agua. Universidad de Pamplona, Colombia.
21. Coello, J., Ormaza, R., Deley, A., Recalde, C., Rios, A. Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoche, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador.
22. Dunnette, D. (1979). A Geographically Variable Water Quality Index Used In Oregon. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, vol. 51, Pp. 53-61.
23. Fernández, N; Ramírez, A and Solano, F. (2003). Índices Físicoquímicos de Calidad de Agua un Estudio Comparativo, in Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible, Cali.
24. Sacha, A and Espinoza, C. (2001). Determinación de Contenido Natural e Índices de Calidad: ¿Presente y Futuro de Calidad de Aguas?, in XIV Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS, Chile.
25. Fernández, L., Izquierdo, E. & Menéndez, G., 2017. Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Ecuador.
26. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. (2017). Libro VI de la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Ecuador.
27. SENAGUA. (2012). Secretaría Nacional del Agua, Ecuador.
28. INEN. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 1108, Ecuador.