

---

# Análisis Multitemporal Índice Calidad Del Agua (ICA) Cuenca Río Portoviejo

Sadoth Bravo-Rodriguez  
Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, Portoviejo, Ecuador

## Resumen

En el Índice de Calidad de Agua (ICA) logra integrar parámetros tanto físicos, químicos y bacteriológicos del agua en un mismo modelo de ecuación que logra de esta forma establecer la calidad de agua en determinado tiempo de un espacio en específico, el propósito de analizar el espacio temporal del ICA en la cuenca del río Portoviejo por medio de la metodología del ICA-NSF permitió visualizar los índice de calidad en el espacio y tiempo entre los periodos de años 2017 al 2019 de los nueve puntos de monitoreo facilitados por el departamento de gestión de calidad del agua, seccionados en las partes de la cuenca que son: cuenca alta , cuenca media y cuenca baja del río Portoviejo en parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, los resultados producto de las ecuaciones aplicadas en cada uno de los parámetros establecidos por el ICA-NFS y representados a través de los programas RStudio y ARCGIS . Los valores de índice de calidad obtenidos en esta investigación están influenciados según la manera en la que se ordenaron los datos bases, ya los modelos más generales con datos según el lugar de la cuenca se obtienen valores normales y muy similares, mientras que en los modelos más específicos como punto de monitoreo existe una mayor variación, en lugares como Correagua hay una ICA baja, mientras que en lugares como Poza Honda el ICA es normal. Los parámetros que resaltan en la cuenca estudiada son los sólidos totales disueltos, los coliformes fecales y la turbidez.

**Palabras claves:** calidad del agua, cuenca hidrográfica, índice ICA –NSF, variabilidad

## Abstract

In the Water Quality Index (ICA) it manages to integrate both physical, chemical and bacteriological parameters in the same equation model that thus manages to establish the water quality in a specific time and space, the purpose of analyzing the temporal space of the ICA in the Portoviejo river basin by means of the ICA-NSF methodology allowed to visualize the ICA between the periods of years 2017 to 2019 of the nine monitoring points provided by the water quality management department, sectioned in the parts of the basin, upper basin, middle basin and lower basin of the Portoviejo river in physical, chemical and

Recibido: 21 de abril 2020 – revision aceptada: 21 de marzo de 2022

Correspondiente a la autora: [ing.sadoth@gmail.com](mailto:ing.sadoth@gmail.com)

bacteriological parameters, the results of the equations applied in each of the parameters established by the ICA-NFS and represented through the RStudio programs and ARCGIS. The quality index values obtained in this research are influenced according to the way in which the data were ordered, the more general models with data according to the place of the basin obtain normal and similar values, while in the more specific models such as Monitoring point there is a greater variation, in places like Correagua there is a low ICA, while in places like Poza Honda the ICA is medium. The parameters that stand out in the ICAs and violation of the norm in the basin are total dissolved solids, fecal coliforms and turbidity.

**Keywords:** water quality, Watershed, , ICA –NSF Index, variability

---

## Introducción

Los países en desarrollo cuentan con que el 90% de sus aguas residuales se desvían sin tratamiento a cuerpos de agua donde sus fuentes de suministro están contaminadas. (Langergraber y Muellegger, 2005). La Cuenca MA-02 tiene una superficie total de 2149 km<sup>2</sup> se compone del río Portoviejo y varios ríos más independientes que desembocan al mar y sus afluentes mismo que está separado del río Daule por una elevación de 480 m en el origen y su origen se encuentra al oeste de los Andes en San Sebastián. La escorrentía promedio anual producida en la cuenca del río Portoviejo es de 777hm y está estructurada por los cantones: 24 de Mayo, Montecristi, Rocafuerte, Santa Ana, Jipijapa, Sucre, Pichincha y Portoviejo (SENAGUA, PGIRH Portoviejo, 2016).

Se planteó la hipótesis: ¿Es posible evaluar la calidad del agua del río Portoviejo mediante el uso del ICA-NSF?, ¿El método ICA-NSF permite identificar los factores contaminantes de cada punto de monitoreo?

La presente investigación utilizará el método de ICA-NSF, método que brinda una clasificación específica del índice y se puede obtener mediante dos diferentes métodos: método aritmético ponderado y método

multiplicativo ponderado. (Poonam et. al., 2013)

El objetivo del presente estudio es evaluar temporal y espacialmente la calidad del agua en el río Portoviejo mediante índice de calidad del agua ICA-NSF, a través de sistematizar, homogenizar la información existente de análisis de calidad del agua para aplicar el cálculo y metodología índice calidad del agua ICA ponderando los resultados con la normativa ambiental vigente.

## Metodología

Los materiales están enmarcados en dos tiempos, primero los materiales de campo utilizados y posteriormente los de gabinete o sistematización de información; Debido como base para la determinar el ICA-NSF de la cuenca del río Portoviejo se tomará el registro histórico del 2017-2019 de los análisis del agua proporcionado por la “Demarcación Hidrográfica de Manabí” por el departamento de Gestión de Calidad del Agua, además se efectuó a la fecha de octubre del 2021 acorde a la red de monitoreo establecida a nueve análisis puntuales realizados por el laboratorio de calidad de agua de la Dirección Zonal Manabí del Ministerio Ambiente y Agua, con efecto comparativo

requiriendo equipos y materiales tanto de campo como de laboratorio.

La presente investigación contempla tres fases que corresponde: a) Homogenización de los datos, b) Cálculo del ICA c) presentación estadístico y ponderado de resultados. El método propuesto por Brown es una versión que tiene una variación con respecto del "WQI" conocido en español cómo índice de calidad de agua "ICA" desarrollado por los Institutos Nacionales de Salud de EE.UU desarrollado para comparar ríos en todo el país. Este método es muy utilizado en la actualidad (NSF, 2006)

De manera general el ICA-NSF se puede clasificar en los parámetros a calcular, mismos que son: pH, variación de temperatura, oxígeno disuelto (OD), turbidez, sólidos disueltos totales (SDT), turbidez; parámetros químicos en laboratorio de DBO, fosfatos, nitratos y los coliformes fecales. (Calvo-Brenes G., 2013; Coelho, 2010; Flores J., 2013; Dukhovny, 2005; Pedraza, 2016).

El ICA propuesto por la NSF se puede determinar por medio de 2 métodos que se basan en técnica similar donde se ponderan los pesos específicos de 9 parámetros específicos y se procede a calcular el índice mediante las fórmulas aplicadas. El primer método se puede determinar mediante la suma lineal ponderada, misma que se representa con la fórmula (1), el segundo método se basa en una función ponderada multiplicativa y está representada por la fórmula (2).

$$ICA_a = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i W_i \quad (1)$$

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Q_i^{w_i}) \quad (2)$$

En base a la escala de 0 a 100 se determina índice y la calidad del agua debido que los cuerpos de agua con un índice que es superior a 90 es apta para cualquier contacto directo con ella, los cuerpos de agua con una categoría ICA "media" generalmente tienen menos diversidad de vida acuática y, a menudo, tienen un crecimiento de algas, mientras que los cuerpos de agua clasificadas con un índice "malo" pueden absorber niveles bajos de biodiversidad acuática y es probable que encuentren problemas de contaminación, Por último los cuerpos de agua que se clasifican con un ICA como "Muy Mala" solo pueden soportar un número limitado de vida acuática y no se consideran aceptables para actividades relacionadas con el agua; los pesos asignados ICA-NSF corresponde, STD 0.08, NO3 0.10, DBO 0.10, PH 0.12, PO4 0.17, OD 0.10, Turbiedad 0.08, FC 0.15,  $\Delta T$  0.10

Los pesos específicos asignados corresponden a la aplicación del ICA-NSF el cual según Cuaspud Patiño & Paredes Sánchez (2017) afirman que los sub-indicadores  $Q_i$  que muestran ciertos valores pueden ser considerados como referenciales.

## Resultados

La red de monitoreo o puntos de muestras para los análisis de calidad del agua se acogió los proporcionados por la Ex Secretaria del agua, autoridad única del agua que corresponden a las unidades hídricas de mineral, pata de pájaro, embalse poza honda, Honorato Vásquez, Ayacucho, Lodana, Picoza, Río Chico y Correagua, debido a que corresponden a la ubicación espacial estratégica inmerso en la cuenca alta, media y baja del río Portoviejo obteniendo una integralidad de los resultados.

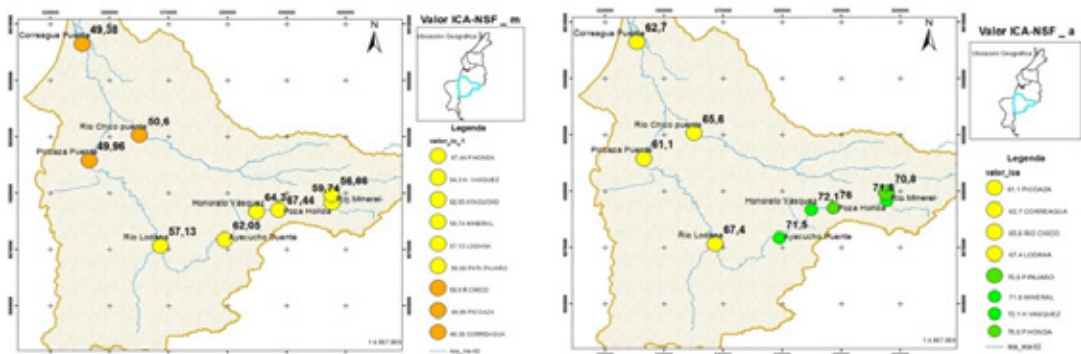
Para la aplicación del ICA – NSF se determinaron varios factores de fracción de los datos históricos, por lo que se realizó la determinación del ICA aritmético e ICA multiplicado según: Años, partes de la cuenca, estación o época del año, puntos de monitoreo y parámetros fisicoquímicos.

Se fraccionó la información según los años 2017, 2018, 2019 y 2021 obteniendo como resultados ICA\_a índices de 68 periodo 2017, 69 periodo 2017, 68 periodo 2019, 70 periodo 2021; ICA\_m 52 periodo 2017, 61 periodo 2018, 52 periodo 2019 y 62 periodo 2021; se fraccionó por cuenca hidrográfica cuenca alta, media y baja resultando ICA\_a 73 cuenca alta , 66 cuenca media , 61 cuenca baja ; ICA\_m 63 cuenca alta , 51 cuenca media y 49 cuenca baja.

Los resultados obtenidos para época invernal y verano corresponde ICA\_a 69 época

lluviosa, 59 época seca , ICA\_m 59 época lluviosa , 53 época seca; Los datos según los 9 puntos de monitoreo de donde se recolectó información con base a la red indicada corresponde índice ICA\_a mineral 72, pata pájaro 71, poza honda 76, Honorato Vásquez 72, Ayacucho 72, Lodana 67 , Rio Chico 66, Picoazá 61, correagua 63, para método multiplicado los índices ICA\_m los resultados mineral 60, pata pájaro 56, poza. Por parámetros fisicoquímico en esta sección se ajustaron los datos de los valores asignados con base a la escala 0 a 100 para poder obtener los valores de ICA de cada parámetro unitario, en cada punto de monitoreo resultando la siguiente tabla.

**Figura 1.** Mapa de resultados ICA\_a , ICA\_m de la cuenca del río Portoviejo



**Tabla 1.** Resultados ICAs por parámetro analizado

Lugar	Poza Honda	Mineral	P.Pajaro	Vásquez	Ayacucho	Lodana	R.Chico	Picoazá	Corre Agua
OD	98	98	98	98	98	98	98	98	98
TURBIDEZ	77	26	5	28	35	62	5	26	21

<b>STD</b>	84	83	24	84	84	20	57	35	20
<b>pH</b>	91	92	91	92	93	90	92	93	92
<b>T. °C</b>	91	90	90	90	90	90	90	90	90
<b>N03</b>	83	86	84	83	79	85	83	63	74
<b>PO4</b>	77	71	64	68	73	62	52	54	63
<b>C.F</b>	17	13	24	23	16	17	17	12	12
<b>DBO</b>	78	87	87	78	76	69	79	58	71

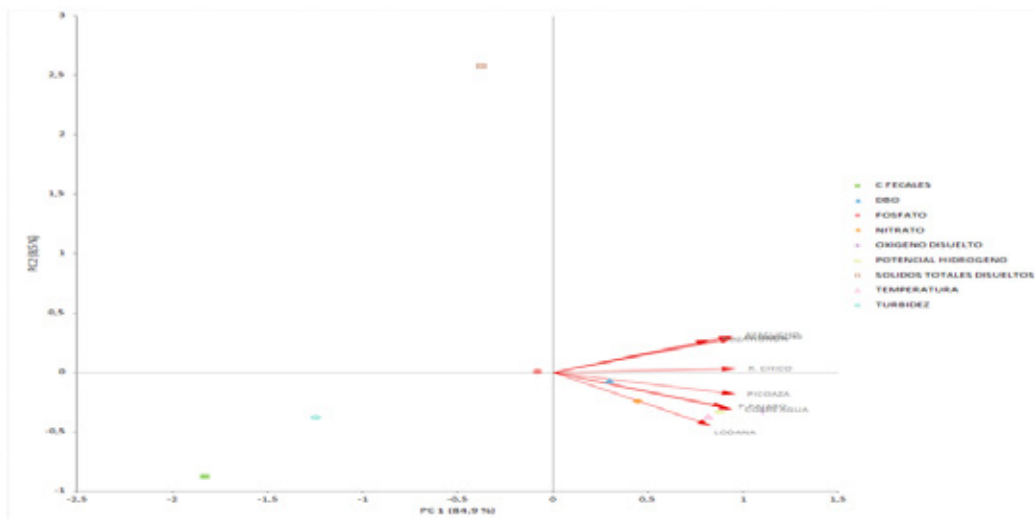
A partir de modelos estadísticos se determinó la correlación de Pearson en conjunto con la correlación de Spearman definida en la fórmula. (Butler C, 1958). Los resultados de correlación por cada punto de monitoreo estimando la concordancia entre la cuenca alta media y baja excepto la correlación de los resultados de poza honda y pata de pájaro debido a la diferencia de resultados en el parámetro de coliformes fecales obteniendo un coeficiente de correlación por debajo de 0,6 debido que la micro cuenca pata de pájaro el resultado del índice ICA están debajo de la media, siendo la unidad hídrica menos contaminada con respecto a las concentraciones que se deben al parámetro de los coliformes fecales en la unidad hidrográfica del río Portoviejo.

La evaluación de los principales componentes determinó que la variación que se acumula es de 93,4%, este modelo permite representar los eventos, representando de forma estadística. La figura 2 indica el nivel de correlación existente de las variables en los distintos puntos monitoreados, Las variables de DBO, Nitrato, temperatura, potencial de hidrogeno y oxígeno disuelto son las variables que demuestran correlaciones más elevadas, estas se encuentran en el cuarto cuadrante de la ilustración.

Los parámetros se correlacionan en cierta medida con las precipitaciones registradas durante la etapa que se realizó el estudio como se determina en el primer cuadrante, el parámetro de fosfatos se encuentra en el cuadrante dos relacionando con valor negativo aportado por la presencia de actividades agrícolas de compuesto fosforados en la cuenca del río Portoviejo.

Además se visualiza con valor negativo sólidos totales disueltos en concordancia de correlación con de la alta incidencia de carga orgánica presente, la correlación del cuadrante tres referente a los parámetros de turbiedad y coliformes fecales tienen una fuerte incidencia negativa en la cuenca debido a los valores elevados de carga orgánica vertida en río tributario incluso zonas altas como la microcuenca de Mineral y embalse de Poza Honda respectivamente.

Consecuentemente el factor vector de la grafica determina que los resultados de Picoazá, Mineral, Correagua y Lodana presentan una fuerte correlación o similitud y en menor escala relacionado pero en el mismo sentido por los parámetros de turbiedad, c. fecales y sólidos totales disueltos el aportante de Río Chico. Los resultados de Poza Honda, Pata de Pájaro, Ayacucho y Honorato Vázquez muestran una alta correlación.



**Figura 2.** Análisis de componentes principales espacio temporales de la cuenca del río Portoviejo

Se comparó los resultados de las muestras según los puntos de monitoreo con la normativa que se indica en el “Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente” (TULSMA) se obtienen los valores de la tabla uno y dos, donde

se indican los límites que debe tener un cuerpo de agua en cada parámetro, la tabla dos describe sobre las aguas que necesitan solamente un tratamiento usual y parámetros en aguas que necesitan una desinfección.

**Tabla 2.** Pruebas de hipótesis de los parámetros evaluados con la tabla del TULSMA

P. Honda	Mineral	P. Pájaro	Ayacucho	Vásquez	Lodana	Picoazá	R.Chico	Corteagua
0,7678	0,6109	0,4150	0,3484	0,6156	0,7385	0,8731	0,7385	0,1533
0.006745*	0.0001*	0.007873*	0.015*	0.04418*	0,0999	1.05E-5*	0,0999	0.011*
4.8E-6*	0,6416	0,0890	0,5932	0,2147	0,3818	0.02685*	0,3818	0,6424
0.0068*	0,1080	0,1100	0,9060	0,3204	0,4818	0,2719	0,4818	0.03252*
0,2828	0,0512	0,2136	0,0596	0,2503	0,1184	0,2528	0,1184	0,1189
0,0950	0,4311	0,1928	2.25E-5*	0,3078	0,0608	0,2646	0,0608	0,1347
0.03926*	0,3729	0,8863	0,3220	0,5502	0,2520	0,6366	0,2520	0.01829*
0.0459*	0,0501	0.01*	0,1631	0,8945	0.0031*	0,928	0.0031*	0,1094

## Discusión

Aplicando el ICA por el método proporcionado por la NSF, podemos obtener resultados concretos tanto de cada punto de monitoreo, donde se tiene que en zonas como Ayacucho, Honorato Vásquez, Poza Honda, Río Mineral y el Río pata de pájaro existe una mejor calidad da agua dando como resultados mediante el ICA\_a una calidad de agua buena y en Correagua, Picoazá, Río Chico y Río Lodana una calidad de agua normal. Mientras que por el método de ICA\_m que es más sensible se obtiene una calidad de agua media en Ayacucho, Honorato Vásquez, Poza Honda, Río Lodana, Río Mineral, Río Pata de Pájaro, y en Correagua, Picoazá y Río Chico una calidad de agua baja, donde se puede observar que lo que más afecta a la calidad de agua son factores como la turbidez, c. fecales y TDS.

La investigación realizada por García et. al (2021) en Santo Domingo de los Tsáchilas se logra determinar que el ICA - adaptado NSF es prácticamente el mejor modelo a utilizar para determinar el índice de calidad y cuenta con una mayor eficiencia, pero además define que el método del ICA-NSF al desentenderse con el uso que se le vaya a dar al agua es necesario que se realicen otros métodos que cuenten con más parámetros sobre todo si es para el consumo humano, es capaz de brindar un buen resultado a pesar de los pocos parámetros que utiliza en relación a los demás métodos, en el trabajo realizado por Coello J. et. al., (2013) es similar en el método de cálculo de ICA, determinando la calidad de agua en ríos andinos que son parte del Parque Nacional Sangay.

## Conclusiones

La cuenca que engloba la unidad hidrográfica del Río Portoviejo cuenta con un patrón, mismo que es capaz de indicar que en la ubicación de la cuenca alta existe una mejor calidad de agua que en las zona media y baja, reflejado en la época seca que en la lluviosa ya que disminuye aún más la calidad del agua en la época seca. El método del ICA-NSF con la fórmula multiplicativa (ICA\_m) es más sensible con respecto a la fórmula aritmética (ICA\_a), donde existe una mayor frecuencia de índices entre el rango de 51 a 56.5 con el ICA\_m, mientras que en el ICA\_a el rango con mayor frecuencia es el del índice que va desde 70 a 72.5; Se evidenció que los resultados de los ICAs la variabilidad en época lluviosa aumentaron esto debido a mejorar la capacidad de autodepuración del rio, en la época seca el índice disminuye a efecto de factor inverso que en la época invernal.

Mediante los resultados de los puntos de monitoreo ajustados a cada parámetro se puede observar que los factores que transgreden los límites estipulados por el TULSMA como se evidencia en las tabla 2 son la turbidez, sólidos totales disueltos y en los coliformes fecales, puesto que se encuentra presente una alta concentración de estos en prácticamente todos los puntos de monitoreo. Por efecto de correlación se determina que en la ubicación de la parte alta de la cuenca, se tienen los valores de ICA\_a \_m existe paridad en los resultados diferenciando la micro cuenca a portante de pata de pájaro que está por debajo de la media siendo en la parte alta la menos contaminada en relación al parámetro de c.fecales.

El registro de datos proporcionados por la ex SENAGUA, de donde pertenecía la “Demarcación Hidrográfica de Manabí” permitió analizar los componentes principales encontrando una variabilidad acumulada de 93,4% de los factores, lo que estadísticamente es representativo para explicar los eventos de los componentes de resultados.

Como resultado de la aplicación de la fórmula ICA –NSF método aritmético y multiplicado se determina que la cuenca del río Portoviejo en el análisis espacio temporal del periodo analizado, se especifica que todos los resultados de la cuenca alta, media y baja el valor de ICA referente a los coliformes fecales, la calidad obtenida en este cuerpo de agua es muy mala por efecto de vertidos de aguas residuales domésticas y en menor ocurrencia por presencia de ganadería.

Los valores de turbiedad en los aportantes de Mineral, H. Vasquez, Ayacucho, Picoazá y Correagua el valor de ICAs fluctúan entre 26-35 determinado un índice de calidad mala deficiente, con respecto a los aportantes de Pata de Pájaro y Río Chico el índice de calidad resultante es muy mala deteriorada. El parámetro de sólidos totales disueltos STD los aportantes de Pata de Pájaro, Lodana, Picoaza, Correagua ICAs resultante es mala y en menor escala Río Chico con una escala 57 media; los parámetros físicos descritos aumenta su incidencia en la época invernal.

El parámetro de fosfato en la cuenca de los aportantes de Pata de Pájaro, Vásquez, Lodana, Río Chico, Picoazá y Correagua los ICAs resultantes fluctúan 52-58 determinando índice de calidad media a razón de las diversas actividades agrícolas en la zona. Con respecto al valor de DBO en los valores a portantes

de Lodana y Picoazá el índice fluctúa entre 58-69 determinado una calidad media para la cuenca media baja del río Portoviejo.

## Literatura citada

- Brown R. M., McClelland N. I., Deninger R. A. and Tozer R. G. (1970). “water quality index: do we dare?”, *Water & Sewage Works*, vol 117, no. 10, pp. 339-343., Gillette Pub, Chicago, USA.
- Butler, Christopher. 1985. *Statistics in Linguistics*. Oxford: Basil Blackwell.
- Calvo-Brenes (2003). Nueva metodología para la calidad de las aguas superficiales para su uso como clase 2 en Costa Rica. Institute of Technology. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v26i2.1399>
- Coello, J., Ormaza, R., Déley, Ángel, Recalde, C., & Rios (2013). A. Aplicación del ICA-NSF la calidad del agua de los ríos Ozogoche, Pichahuiña y Pomacocha-Parque Nacional Sangay-Ecuador.
- CVC (2004) .“Estudio del ICA flujo de agua Cauca y sus primordiales tributarios por medio de la aplicación de índices de calidad y la contaminación del área Salvajina-la Virginia”, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) & Universidad del Valle, Acuerdo administrativo 0168 de Noviembre 27 de 2002, Cali, Colombia.
- Debels P., Urrutia R., O Barra R., Figueroa R., (2005), Evaluation of water quality in the Chillán river (Central de Chile)



- using physicochemical parameters and a modified water quality index, Environmental Monitoring and Assessment, <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-005-8064-1>
- HREE, B.; SUKALYAN, C.: “Water quality indices—important tools for water quality assessment: a review”, International Journal of Advances in Chemistry, 1(1): 15–28, 2013, ISSN: 2310-2977.
- Espinal, T.; Sedeño, J. E. & López, E. (2013) Evaluación del ICA de la laguna de Yuriria, Guanajuato, México, con técnicas multivariantes : estudio de valoración de 2 épocas 2005, 2009-2010. Revista Universal de Contaminación Ambiental 29(3), 147-163.
- Sedeño J., López E., (2007), Water Quality in the Río Lerma, Mexico: An Overview of the Last Quarter of the Twentieth Century, Instituto Politécnico Nacional, <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-006-9128-x>.
- Flores, J. (2013). Iniciativa ICA agua residual usando un modelo aritmético lineal ponderado. Interciencia, 38(2), p.145-149.
- SENAGUA, Plan de Gestión Integral de los Recursos Hídricos PGIRH, 2016.
- Gallego J. (2010). Representación índice de calidad de agua (ICA). Administración y Ambiente, 13(2), p.7-24.
- García J., Osorio M., Saquicela R. & Cadme M. (2021), Aplicación ICA en los ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, Ingeniería calidad del agua, 25(2), p.115-126.
- García, Q. (2012). Propuesta de ICAs para ecosistemas hídricos de Chile. Tesis para optar al título de ingeniería civil. Chile: Universidad de Chile.
- Langergraber y Muellegger, (2005), A way to solve global sanitation problems? PubMed, 10.1016/j.envint.2004.08.006
- NSF, (2006). Foundation National Sanitation., <http://www.nsf.org/consumer-resources>. POONAM, R.; TANUS-