

Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano utilizando índices de contaminación

Analysis of the quality of various bodies of surface water in Bahía Solano using pollution index

Arlyn Valverde-Solis¹, Edinson Moreno-Tamayo², Nerlyn Yiseth Ortiz-Palacios³

Resumen

Objetivo: Determinar la calidad del agua de las fuentes hídricas, Cacique, Jella, Placer, Cupica-Playa, Mecana, Mecana-Playa, que desembocan al mar en jurisdicción del municipio de Bahía Solano, Chocó, Colombia.

Métodos: Para caracterizar los cuerpos de agua en Bahía Solano, se aplicaron tres índices de contaminación (ICO): ICOMI o de mineralización, ICOMO o de contaminación orgánica, e ICOSUS relativo a los sólidos suspendidos los cuales presenta los indicadores de contaminación para fuentes superficiales de Colombia. También se utilizó el protocolo del IDEAM, como guía de monitoreo de las corrientes hídricas. En ese sentido, se tomaron muestras de varios cuerpos de agua superficiales y se llevaron al laboratorio para conocer las características físico-químicas y bacteriológicas de las aguas y así, determinar los índices de contaminación de las fuentes hídricas.

Resultados: Los resultados permitieron encontrar que el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) se situó en el rango de 0,546-0,633, y por sólidos suspendidos (ICOSUS) en el rango de 0,01 a 0,1.

Conclusión: Los contaminantes asociados con la materia orgánica superan en 53% lo aportado por los sólidos suspendidos. Los problemas de contaminación encontrados en las fuentes hídricas estudiadas, se generan como consecuencia del desarrollo de actividades humanas. Por tanto, se requieren intervenciones estratégicas para contrarrestar los impactos negativos sobre el recurso hídrico.

Palabras clave: Calidad del agua, Contaminación hídricas, Contaminación por materia orgánica, Índice de contaminación, Puntos de monitoreo, Sólidos suspendidos.

Abstract

Objective: To determine the water quality of water sources, Cacique, Jella, Enjoyment, Cupica-Playa, Mecana, Mecana-Playa, which flow into the sea in the municipality of Bahía Solano, Chocó, Colombia.

Methods: To characterize the bodies of water in Bahía Solano, three pollution indexes (ICO) were applied: ICOMI or mineralization, ICOMO or organic pollution and ICOSUS relative to suspended solids. Which present the contamination indicators for surface sources of Colombia. IDEAM protocol was also used as a guide to monitoring of water currents. In this regard, several samples of surface water were taken and brought to the laboratory to know the physico-chemical and bacteriological characteristics of the water and thus determine the pollution of water sources

Results: The results allowed to find that the rate of contamination by organic matter (how should) stood in the range of 0.546-0.633 and suspended solids (ICOSUS) in the range of 0.01 to 0.1.

Conclusion: Contaminants associated with organic matter exceed 53% contributed by the suspended solids. Pollution problems found in the studied water sources are generated as a result of the development of human activities. Therefore, strategic interventions are needed to counter the negative impacts on water resources.

Keywords: Hydric pollution, Monitoring points, Pollution by organic matter, Pollution index, Suspended solids, Water quality.

Introducción

Los índices de calidad y contaminación de agua (ICA e ICO) se utilizan para simplificar numéricamente las características positivas o negativas

del estado de las fuentes superficiales (Coello *et al.*, 2013). Estos ICA e ICO, tienden a estimar un número comprendido entre 0 y 1, que definen el grado de calidad del cuerpo de agua continental (Ramírez *et al.*, 1997). Además, los valores ob-

¹ Consultor ISAS SAS. Asesor trabajos de investigación docente, Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Quibdó, Colombia. e-mail: arlynvs@gmail.com.co

² Docente tiempo completo, Líder grupo de investigación en Gestión y Manejo Integrado del Agua, Investigador, grupo de investigación de Estudios Ambientales, Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Quibdó, Colombia. Asesor Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (CODECHOCÓ), Quibdó, Colombia. e-mail: edinsonmt@yahoo.es

³ Docente catedrática, Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Quibdó, Colombia. e-mail: nerlyn.ortiz@gmail.com

tenidos permiten resolver diferentes conflictos en cuanto a los usos del agua y a la integridad ecológica en los sistemas acuáticos. Con los ICA, se reconoce de forma sencilla y económica los problemas de contaminación de los cuerpos de agua (Fernández & Solano, 2005).

En el momento, los indicadores involucran más de 30 parámetros los cuales están asociados por categorías, tales como, contaminación por materia orgánica e inorgánica, oxígeno disuelto, sustancias suspendidas y disueltas, las cuales dan origen a las características físico-químicas y microbiológicas que permiten valorar individual o colectivamente la calidad del agua (Samboni-Ruiz *et al.*, 2007). Estos, parámetros físico-químicos, rinden información de la naturaleza de las especies química del agua y sus propiedades físicas, sin aportar la información de la injerencia en la vida acuática. Por el contrario, los métodos biológicos aportan información de la vida acuática, sin contar con los parámetros físico químicos (Fernández *et al.*, 2003).

Debido a esto, muchos investigadores utilizan tanto los parámetros físico-químicos como los biológicos para evaluar la calidad de un cuerpo de agua (Torres *et al.*, 2009). De ahí que, desde el año 2002 las entidades que conforman el sistema de Información Ambiental Colombiano, incursionaron sobre la base de los índices desarrollados por Ramírez *et al.* (1997). En consecuencia, Cadavid *et al.* (2011) utilizó los ICA para modelar las cuencas hidrográficas de la región cornare; en ella aplicaron la metodología propuesta por el Laboratorio Ambiental del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). También Behar *et al.* (1997) utilizan los ICA, para valorar la calidad de las aguas del río Cali y Meléndez en la capital del Valle del Cauca. Al igual, Cañas-Arias (2014) evalúa y cuantifica la contaminación presente en las cuencas de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (río Bogotá). Asimismo, la Cor-

poración Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (CODECHOCÓ) monitorea los cuerpos de agua de su respectiva jurisdicción, en ese sentido, se valoran y cuantifican las aguas superficiales (Cacique, Jella, Placer, Cupica frente a la Playa, Mecana, Mecana frente a la Playa) que desembocan en manglares, ciénagas, humedales y playas, todos, ecosistemas estratégicos de gran importancia para el desarrollo social y económico del municipio de Bahía Solano.

Estos sistemas se degradan por la alteración del régimen hídrico, debido, a la influencia de las actividades antrópicas no controladas como la minería, agricultura, dragado, transporte marítimo y turismo no controlado, que hacen variar la calidad física, química y biológica de las fuentes hídricas (Holguín *et al.*, 2006). Es más, las descargas de los residuos sólidos, líquidos, fertilizantes, herbicidas, pesticidas utilizados en los campos agrícolas, drenan como aguas residuales en los ecosistemas naturales, trayendo como consecuencia efectos negativos para el medio ambiente y afectándose la calidad y la biodiversidad del medio acuático. Por tanto, existe la preocupación por la contaminación del recurso hídrico asociado con los ecosistemas estratégicos (Amado-Álvarez *et al.*, 2006).

Por ello, en esta investigación, se pretende dar respuesta a la pregunta ¿Cuál es la calidad del agua asociada con los ecosistemas estratégicos existentes en el municipio de Bahía Solano? En consecuencia, se desconoce la calidad del agua de estos sistemas. Sin embargo, se observan cambios negativos de las fuentes hídricas, Cacique, Jella, Placer, Cupica frente a la Playa, Mecana, Mecana frente a la Playa, que indicarían el deterioro progresivo de las fuentes superficiales. Por tanto, este estudio tiene por objetivo determinar el grado de contaminación de los ríos y quebradas que drenan en los ecosistemas estratégicos marino-costeros, de la jurisdicción del municipio de Bahía Solano, Chocó, Colombia.

Metodología

Área de estudio. El estudio se realizó en fuentes superficiales que drenan a los ecosistemas estratégicos del municipio de Bahía Solano en el departamento del Chocó.

Método. Este estudio se basó en la metodología utilizada por Ramírez *et al.* (1997), quien aplicó los indicadores de contaminación para fuentes superficiales en Colombia. El muestreo se realizó de acuerdo con los protocolos de seguimiento y monitoreo del agua, sugeridos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Posteriormente, se procedió a georreferenciar con GPS los puntos de muestreo (Tabla 1).

de tinta resistente al agua, la etiqueta contiene el código de la fuente, el lugar, la fecha y la hora del muestreo. El recipiente se introdujo a 20 cm de profundidad del río. Una vez lleno se tapó y se almacenaron las muestras recolectadas en una nevera con hielo a 4°C y se transportaron al laboratorio de CODECHOCÓ.

En el sitio de muestreo también se midió la temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y el pH, utilizando el multiparámetro horiba modelo U-50. Las muestras microbiológicas (coliformes totales y *E. coli*) se recolectaron en frascos esterilizados. También se observó y se registró el uso, la actividad desarrollada y las características generales del entorno de los cuerpos de agua estudiados.

Tabla 1. Georreferenciación de los puntos de muestreo en Bahía Solano

Municipio	Puntos de muestreo	Coordenadas	
		N	W
Bahía Solano	R. Cacique	06°41.8759'	77°29.3683'
	Cupica frente a la playa	06°41.7225'	77°29.3310'
	Q. Huaca	06°18.9462'	77°22.6703'
	Q. Mecana	06°15.6078'	77°23.5666'
	Mecana frente a la playa	06°15.7872'	77°23.5416'
	Río Jella	06°13.6908'	77°24.0269'

Muestreo. El muestro se inició con un recorrido preliminar por los ríos, Cacique, Jella y las quebradas Huaca, Mecana, Cupica frente a la playa y Mecana frente a la playa, luego se establecieron seis estaciones de muestreo a lo largo del recorrido, teniendo en cuenta las zonas de intercambio de las aguas dulces con la de los ecosistemas estratégicos.

Estos muestreos se realizaron de acuerdo con lo dispuesto en el plan de monitoreo propuesto por CODECHOCÓ. En cada fuente de estudio, se tomaron muestras puntuales, recolectadas en frascos plásticos y de vidrio esterilizados. Los primeros se usaron en los parámetros fisicoquímicos y los segundos para las pruebas microbiológicas. Todos se etiquetaron con marcador

En la Tabla 2 se muestran los métodos y técnicas de análisis físico-químicas y microbiológicas, utilizados en este estudio.

Tratamiento de los datos. Los datos obtenidos se procesaron en el software estadístico SPSS 22. Los índices de contaminación se determinaron siguiendo cada una de las ecuaciones que se describen a continuación.

Índice de contaminación por mineralización (ICOMI). Se expresa en numerosas variables, de las cuales se eligieron: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos. En la ecuación (EC.1)

Tabla 2. Técnicas utilizadas para análisis físico-químicos del agua

Parámetro	Lugar	Método
Temperatura	<i>In situ</i>	Potenciométrico
Oxígeno disuelto	<i>In situ</i>	Electrodo de membrana
pH	<i>In situ</i>	Potenciométrico
Conductividad	<i>In situ</i>	Potenciométrico
Turbidez	Laboratorio	Nefelométrico
Alcalinidad total	Laboratorio	Titulométrico
Dureza total	Laboratorio	Titulométrico
DBO5 y/o DQO*	Laboratorio	Electrodo de membrana
Sólidos suspendidos totales	Laboratorio	Gravimétrico
Sólidos totales	Laboratorio	Gravimétrico
Coliformes fecales	Laboratorio	Filtración por membrana
Sustancias de interés sanitario	Laboratorio	Absorción atómica
Plaguicidas	Laboratorio	Cromatografía

se muestra la forma para determinar el índice de contaminación por mineralización. EC.2

EC. 1

$$ICOMI=1/3 (I_{\text{Conductividad}} + I_{\text{Dureza}} + I_{\text{Alcalinidad}})$$

Donde:

$$I_{\text{Conductividad}} = -3.26 + 1.34 \text{ LOG}_{10} \text{ Conductividad } (\mu\text{s/cm})$$

Conductividades >270 $\mu\text{s/cm}$,
tienen un índice de conductividad=1

$$I_{\text{Dureza}} = -9.09 + 4.40 \text{ LOG}_{10} \text{ Dureza } (\text{g/M}^3)$$

Dureza >110 g/M^3 tienen un índice=1
Dureza <30 g/M^3 tienen un índice=0

$$I_{\text{Alcalinidad}} = -0.25 + 0.005 \text{ Alcalinidad } (\text{g/M}^3)$$

Alcalinidad >250 g/M^3 tienen un índice=1
Alcalinidad <50 g/M^3 tienen un índice=0

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO). Este índice contiene diferentes variables físico-químicas de las cuales se seleccionaron la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, que en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como lo demuestra la ausencia de correlaciones entre ellas (Samboni *et al.*, 2011). En la ecuación (EC.2) se muestra la fórmula para su determinación.

$$ICOMO=1/3 (I_{\text{DBO}} + I_{\text{COLIFORMES}} + I_{\text{OXIGENO}} \%)$$

$$I_{\text{DBO}} = -0.05 + 0.07 \text{ LOG}_{10} \text{ DBO} (\text{g/M}^3)$$

DBO >30 g/M^3 tienen un índice=1
DBO <2 g/M^3 tienen un índice=0

$$I_{\text{Coliforme totales}} = -1.44 + 0.56 \text{ LOG}_{10} \text{ Coliformes totales } (\text{NMP}/100 \text{ ml})$$

Coliforme totales >20.000 (NMP/100 ml)
tienen un índice=1
Coliforme totales <500 (NMP/100 ml)
tienen un índice=0

$$I_{\text{Oxígeno}} = 1 - 0.01 \text{ oxígeno}\%$$

Oxígenos (%) mayores a 100% tienen un índice=0

Para sistemas lenticos con eutrofización y porcentajes de saturación mayores al 100% se sugieren la siguiente ecuación:

$$I_{\text{Oxígeno}} = 0.01 \text{ Oxígeno}\% - 1$$

Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS). Se determina mediante la concentración de sólidos suspendidos. Si bien esta variable observó alguna correlación de importancia con la demanda de oxígeno (DBO y DQO) y con el amonio, se desagregó de las anteriores por cuanto

estas últimas corresponden con claridad a procesos de contaminación orgánica, mientras que los sólidos suspendidos bajo muchas circunstancias, podrían perfectamente hacer referencia tan sólo a compuestos inorgánicos (Puerto-Rodríguez & Pimentel-Suárez, 2006).

EC. 3

ICOSUS=-0,02+0,003 sólidos suspendidos (g/M³)
 Sólidos suspendidos >340 (g/M³) tienen un índice=1
 Sólidos suspendidos <10 (g/M³) tienen un índice=0

Después de obtener los ICO de las cuencas estudiadas, se caracterizaron los cuerpos de agua y se clasificaron según el grado de contaminación determinado como se muestra en la Tabla 3, donde se registra la escala de clasificación de los índices y el grado de contaminación del cuerpo de agua (Ramírez *et al.*, 1997).

fuentes Mecana y Cacique respectivamente. El ICOSUS registra rango de 0,01 a 0,1, para el río Cacique. Esto indica que el río Cacique está fuertemente influido por la actividad antrópica y de esta manera se contamina con materia orgánica

Discusión

Los resultados expuestos muestran un agua con notable actividad antrópica y fuerte incidencia de contaminación. Las variaciones observadas en los parámetros físicos químicos y microbiológicos, parecen evidenciar alteraciones locales en determinados puntos de los sistemas acuáticos (Alonso, 2013). Al parecer las descargas de las aguas residuales, los desechos de los residuos sólidos y los vertimientos incontrolados de hidrocarburos, pueden ser los responsables de la contaminación de estas hídricas.

Tabla 3. Grado de contaminación de acuerdo con los ICO

ICO	Caracterización	Contaminación	Color
0 – 0,2	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos	Ninguna	AZUL
>0,2 – 0,4	Con leve incidencia antrópica	Baja	VERDE
>0,4 – 0,6	Notable actividad antrópica	Media	AMARILLO
>0,6 – 0,8	Incidencia importante de contaminación	Alta	NARANJA
>0,8 - 1	Áreas muy contaminadas	Muy alta	ROJO

Fuente: Ramírez *et al.* (1997)

Resultados

Los resultados de los atributos fisicoquímicos evidencian diferente grado de variedad entre las variables, aunque la DBO₅ tiende a ser inferior a 2 mg O₂/L en todas las fuentes estudiadas (Tabla 4).

En la Tabla 4 también se muestran los resultados de los índices de contaminación por materia orgánica (ICOMO) y sólidos suspendidos (ICOSUS), productos del monitoreo de las fuentes hídricas, Cacique, Jella, Placer, Cupica, Huaca y Mecana. En la misma se observa que el ICOMO estuvo en el rango de 0,546 a 0,633 correspondiendo a las

Sin embargo, El ICOSUS, mantuvo un nivel bajo a pesar de que se evidenció desechos flotantes en las fuentes. Es decir, no presenta un alto grado de contaminación por sólidos suspendidos. Por el contrario, el ICOMO en cada una de las estaciones muestreadas se situó en valoración media de contaminación en todas las fuentes monitoreadas (Figura 1), debido, a la combinación de contaminantes producidos por los asentamientos humanos asociados con la explotación minera (González-Caro, 2015).

Conclusión

Los resultados mostraron que los problemas de

Tabla 4. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos e indicadores de contaminación evaluados en cada fuente hídrica estudiada

Parámetros	Puntos de muestreo en las fuentes hídricas						
	Cacique	Jella	Placer	Cupica/Playa	Huaca	Mecana	Mecana/Playa
Temperatura (°C)	24,4	27,16	28,51	28,21	25,8	28,34	28,31
% de saturación OD	26,1	52,1	38,2	40,8	51,7	52,3	51,8
DBO ₅ mg O ₂ /l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Coliformes totales NMP/100 ml	24,2x10 ⁷	240x10 ⁷	23,2x10 ⁷	23,2x10 ⁷	24,3x10 ⁷	240x10 ⁷	101,2x10 ⁷
Coliformes <i>E. coli</i> NMP/100 ml	9,6x10 ⁷	95,7x10 ⁷	10,8x10 ⁷	12,2x10 ⁷	13,1x10 ⁷	95,7x10 ⁷	60,5x10 ⁷
Sólidos suspendidos mg/l	40	<10,38	<10,38	<10,38	<10,38	<10,38	<10,38

Índices de contaminación	Estaciones de monitoreo						
	Cacique	Jella	Placer	Cupica/Playa	Huaca	Mecana	Mecana/Playa
Icomo	0,633	0,547	0,593	0,584	0,548	0,546	0,548
Icosus	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

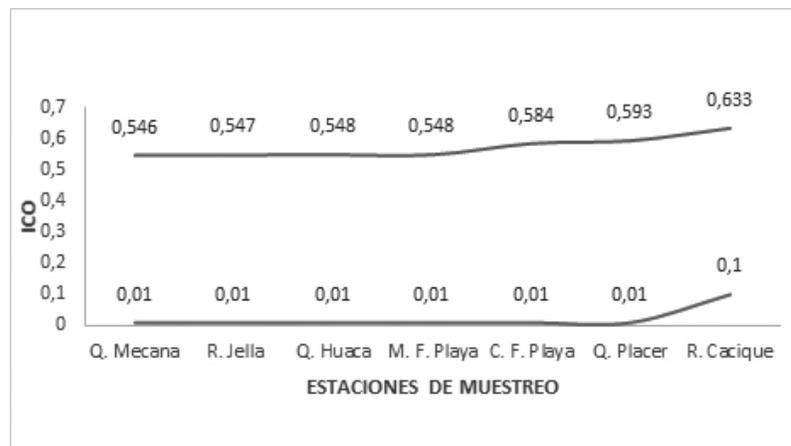


Figura 1. Comportamiento ICOMO E ICOSUS en las fuentes hídricas estudiadas.
Fuente: Propia

contaminación del agua se generan como consecuencia del desarrollo de actividades humanas. Por tanto, es importante que se comiencen a generar estrategias y métodos para contrarrestar este impacto en el recurso hídrico debido a la importancia del agua para la vida y sostenibilidad de los ecosistemas estratégicos marinos costeros y continentales en Bahía Solano.

La metodología planteada para la determinación de los indicadores de contaminación y calidad del agua es sencilla y fácil de implementar, donde se consigue establecer que para fuentes altamente

contaminadas se deben dar restricciones de usos del agua.

Por último se concluye resaltando la importancia del apoyo mutuo entre las instituciones y comunidad en general para dar continuidad a estudios de este estilo cuyo resultados arrojan importantes datos que servirán para mejorar las condiciones ambientales de los ecosistemas acuáticos, como también contribuirán para impulsar y generar nuevas normas de control y vigilancia de los cuerpos de agua que pueda regular a todas las empresas que generan vertimientos a los cuerpos de agua.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba” (UTCH) y a la Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (CODECHOCÓ) por el convenio interadministrativo 021 de 2013 firmado entre la UTCH y CODECHOCÓ lo cual permitió que fuera realidad este estudio.

Nomenclatura

CODECHOCÓ: Corporación Autónoma para el Desarrollo sostenible del Chocó
DBO: Demanda Biológica de Oxígeno
ICA: Índice de Calidad del Agua asociado a los ecosistemas estratégicos marino costeros del municipio de Bahía Solano.
ICO: Índice de Contaminación
ICOMI: Índice de Contaminación por Mineralización
ICOMO: Índice de Contaminación por Materia Orgánica
ICOSUS: Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos
IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
OD: Oxígeno Disuelto
SS: Sólidos Suspendidos

Literatura citada

Alonso J. 2013. Evaluación de calidad de las aguas del arroyo Aguapey mediante el empleo del índice simplificado de calidad de agua. *Revista sobre Estudios e Investigaciones del Saber Académico*. 7: 9-13.
Amado-Alvarez J, Rubiños Panta E, Gavi Reyes F, Alarcón Cabañero JJ, Hernández Acosta E, Ramírez Ayala C, et al. 2006. Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y predicción. *Phyton* (Buenos Aires). 75: 71-83. URL disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/phyton/v75/v75a07.pdf>
Behar R, Zúñiga de Cardozo MdC, Rojas O. 1997. Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la NSF: casos ríos Cali y Meléndez. *Revista Ingeniería y Competitividad*. 1 (1): 17-27. URL disponible en: http://revistaingenieria.univalle.edu.co/ojsunivalle/ojs/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2361

Coello JR, Ormaza RM, Déley ÁR, Recalde CG, Ríos AC. 2013. Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los Ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Rev del Instituto de Investigación (RIIGEO)*. FIG-MMG-UNMSM. 15 (30): 66-71. URL disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281/10118>
González-Caro M. 2015. *Análisis espectral de sólidos suspendidos en aguas continentales con presencia de actividades mineras: caso de estudio río Sipí, Pacífico colombiano*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. URL disponible en: http://unimilitar-dspace.metabiblioteca.org/bitstream/10654/13462/1/Articulo_final_UMNG_Mauricio_Gonzalez_Caro_3.pdf
Fernández N, Ramírez A, Solano F. 2003. *Índices fisicoquímicos de calidad del agua: un estudio comparativo*. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Cali: Universidad del Valle/Instituto Cinara; p. 211-9.
Fernández NJ, Solano F. 2005. Índices de calidad y de contaminación del agua. Pamplona: Universidad de Pamplona; pp. 43-53. URL disponible en: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/vinci2013/pag_contenido/02042013/sub_editorial.jsp
Cadavid JC, Echeverri JD, Gómez AE. 2011. Modelación índices de calidad de agua (ICA) en las cuencas de la región Cornare. *Revista Gestión y Ambiente*. 13 (2): 7-24. URL disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25391/25902>
Holguín C, Rubio H, Olave ME, Saucedo R, Gutiérrez M, Bautista R. 2006. Calidad del agua del río Conchos en la región de Ojinaga, Chihuahua: Parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides. *Universidad y Ciencia*. 22 (1): 51-63. URL disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15402204>
Puerto-Rodríguez SP, Pimentel-Suárez A. 2006. *Determinación de índices y planteamiento de objetivos de calidad del agua para las cuencas de segundo orden de la jurisdicción de La CAR-Cundinamarca*. Bogotá: Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. URL disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14144/T41.06%20P962d.pdf?sequence=1>
Ramírez A, Restrepo R, Viña G. 1997. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*. 1 (3): 135-53. URL disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n3/v1n3a09.pdf>
Cañas-Arias JS. 2014. *Determinación y evaluación de*

- índices de contaminación (ICOS) en cuerpos de agua.* (Licenciatura). Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. URL disponible en: <http://repositorio.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10901/1/articulo%20final.pdf>
- Samboni NE, Reyes A, Carvajal Y. 2011. Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. *Revista Ingeniería y Competitividad.* 13 (2): 49-60. URL disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2913/291323530004.pdf>
- Samboni Ruiz NE, Carvajal Escobar Y, Escobar JC. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ing Investig.* 27 (3): 172-81. URL disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a19.pdf>
- Torres P, Cruz CH, Patiño PJ. 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías.* 8 (15): 79-94. URL disponible en: <http://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/59>