

RÍOS TEJO Y CHIQUITO: EVALUACIÓN DE LOS ICO's DENTRO LA ESTRUCTURA URBANA DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER

TEJO AND CHIQUITO RIVERS: EVALUATION *ICO* INSIDE THE URBAN AREA OF OCAÑA, NORTE DE SANTANDER

Ing. Ingrith Catalina Díaz Flórez^a; Ing. Hemell Fabián Quintero Vega^b; Esp. Yeeny Lozano Lázaro^c; Ing. Luis Carlos Fonseca Herreño^d; MS.c Diana Milena Valdes Solano^e.

^aUniversidad Francisco de Paula Santander Ocaña, MINDALA
Vía Acolsure, Sede el Algodonal Ocaña, Colombia, icdiazf@ufpso.edu.co

^bUniversidad Francisco de Paula Santander Ocaña, MINDALA
Vía Acolsure, Sede el Algodonal Ocaña, Colombia, hemellquintero@outlook.es

^cUniversidad Francisco de Paula Santander Ocaña, MINDALA
Vía Acolsure, Sede el Algodonal Ocaña, Colombia, Ylozanol@ufpso.edu.co

^dUniversidad Industrial de Santander, CIDES
Cra 27 calle 9, Bucaramanga, Colombia, luis.fonseca2@correo.uis.edu.co

^eUniversidad Francisco de Paula Santander Ocaña, GI@DS
Vía Acolsure, Sede el Algodonal Ocaña, Colombia, dmvaldess@ufpso.edu.co

Fecha de recepción: 11-04-2017

Fecha de aprobación: 22-06-2017

Resumen: La siguiente investigación presenta la evaluación de los índices de contaminación para los ríos Tejo y Chiquito dentro del casco urbano de Ocaña; se escogieron seis puntos de muestreo estratégicos en temporadas de lluvia y estiaje, abarcando casi en su totalidad las dos fuentes hídricas. Se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para la utilización de los índices de contaminación, observándose que el índice de mayor incidencia es el de materia orgánica, dando como resultado un grado de contaminación muy alta en todo el tramo de estudio (exceptuando el punto de la Pradera, el cual es el punto de nacimiento del río Chiquito), también se identifican altas medidas de conductividad que muestran que los cuerpos de aguas se vean afectados por vertimientos de iones, aumentando el índice de contaminación por mineralización. La contaminación por sólidos suspendidos es variada en los seis puntos de muestreo, observándose un comportamiento natural de los cuerpos de agua durante su recorrido por el casco urbano. A manera de conclusión se sugiere la formulación y la aplicación de un plan de ordenamiento ambiental, acciones en saneamiento y manejo de vertimientos que sean participativos e incluyentes cuya base de formulación tenga atributos ecológicos y conciencia de los bienes y servicios que estos ofrecen.

Palabras clave: Fuentes hídricas, índices de contaminación, parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, río Chiquito, río Tejo.

Abstract: In this research, contamination indices for the rivers Tejo and Chiquito, in the urban area of Ocaña, were evaluated. Six sampling points were strategically chosen for rainy and dry seasons, including both rivers almost in their entirety. Physicochemical and microbiological parameters were analyzed for the application of the contamination indices, it was observed that organic matter was present in all sampling points, except for the top of Chiquito river, which indicates a very high contamination index, likewise, high conductivity measurements indicated that the rivers are affected by ion discharges, rising the mineralization contamination index. Contamination for suspended solids varies along the six sampling points, showing a regular behavior in their way thru the urban area. It is suggested to formulate and apply an environmental management plan, sanitation actions and dump management that are participative and inclusive of the community, based on ecological thinking and awareness of the advantages that comes with it.

Keywords: Chiquito river, Contamination indices, hydric source, microbiological parameters, physicochemical parameters, Tejo river

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población a nivel mundial ha incrementado los niveles de contaminación, y está relacionada con el vertido de agua de desecho de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal (Arcos Pulido, Ávila de Navia, Estupiñán Torres, & Gómez Prieto, 2005).

La contaminación de los cuerpos hídricos está relacionada con los vertimientos de origen doméstico; la carga contaminante está reflejada por el aumento de materia orgánica y microorganismos. La determinación de parámetros de contaminación microbiológica, orgánica y química del agua de consumo y de vertido, demanda una serie de análisis enmarcado a

conocer la calidad de las fuentes hídricas (Pinilla, 2004).

En Norte de Santander, durante los últimos años la problemática ambiental principal está asociada al vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratamiento, el uso de agua sin concesiones y la alta demanda. Así mismo, en Ocaña, desde hace varios años existe una problemática ambiental a causa de la contaminación de sus cuerpos hídricos y que actualmente no se han empleado modelos matemáticos para el manejo de la calidad del agua, como tampoco estudios minuciosos de las variables fisicoquímicas y microbiológicas en cuanto a los índices de contaminación (ICO), por lo que se han tenido estudios muy superficiales sin registros exactos.

Analizado el contexto ambiental de Ocaña, se encuentra pérdida de coberturas boscosas, especialmente en las zonas donde se recargan los acuíferos y donde nacen las

principales fuentes de agua con que cuenta el municipio, como el río Tejo y sus afluentes, lo que conlleva a la pérdida y alteración de los hábitats en estos ecosistemas, afectando la flora y la fauna nativa, contaminando aguas superficiales y subterráneas, evidenciándose que la base de sustentación ecológica del territorio se ha venido deteriorando paulatinamente (Alcaldía de Ocaña, 2016).

El sistema natural de drenaje confluye al Este hacia el río Chiquito y al Oeste con el río Tejo; estos dos afluentes rodean gran parte de Ocaña, la cual su sistema de alcantarillado sanitario es obsoleto o nulo y vierten directamente sus aguas servidas a los cauces de estos dos ríos, existiendo como único mecanismo de disposición final de las aguas negras sin ningún tratamiento causando contaminación y deterioro de las cuencas (Alcaldía de Ocaña, 2012). El río Tejo tiene una longitud aproximada de 20 Km, recorre casi toda la ciudad, en la parte alta surge la planta de tratamiento de agua potable el Llanito, este río es el tercer río del mundo cuyas aguas contienen flúor, aguas abajo donde surge el acueducto, recibe en todo su recorrido las aguas residuales de la ciudad y desemboca en el río algodonal (Alcaldía de Ocaña, 2016).

En la actualidad los cuerpos hídricos Tejo y Chiquito, han venido padeciendo ciertas alteraciones en sus propiedades, resultado de fuertes actividades antrópicas imperantes en el medio, impactando y degenerando la calidad de sus aguas. Tanto en sectores urbanos como rurales se generan procesos nocivos para estas fuentes hídricas, como la sobre acumulación de residuos sólidos, tala de árboles, aplicación de agroquímicos en cultivos aledaños, generación de nuevos asentamientos causantes directos del desequilibrio y cambios bruscos en su estabilidad biológica física y química consecuentes de la contaminación, sumadas

a otras actividades económicas que modifican sus características. Teniendo en cuenta lo anterior, (CORPONOR, 2012), afirma que en el casco urbano es donde más se presentan impactos ambientales negativos, como contaminación de fuentes hídricas, ocasionados por infraestructura vial, construcción, aguas residuales, domésticas, industriales, basuras y agroquímicos.

Las deficiencias en el tratamiento de aguas residuales en el municipio de Ocaña, ha contribuido al deterioro del Río Tejo además de una problemática notoria en la región que es la disminución del caudal de los ríos Algodonal (alto Catatumbo) y el propio Tejo, además de que se han convertido en depósitos de basuras propiciando la constante contaminación de la cuenca. (García, 2014).

Los índices de calidad y contaminación para evaluar las fuentes hídricas se ha convertido en una herramienta fundamental para el monitoreo de las condiciones de los cuerpos de agua, utilizando los parámetros físicos, químicos y microbiológicos como una base para el cálculo de los mismos.

Los índices se desarrollaron con base en legislaciones de diversos países, acordes con las concentraciones de las distintas variables y los usos potenciales de las aguas. Dichos índices de contaminación (ICO) son: ICOMI o de mineralización, ICOMO o de contaminación orgánica, ICOSUS relativo a los sólidos suspendidos, e ICOTRO o trofia del sistema. Los índices son de fácil estimación (matemática o gráficamente) y permiten puntualizar el tipo de problema ambiental existente (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997).

En este sentido la presente investigación tiene como finalidad evaluar la calidad del agua de los ríos Tejo y Chiquito dentro de la

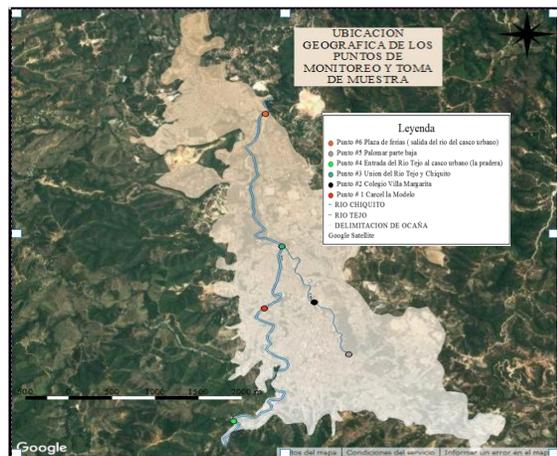
estructura urbana del municipio de Ocaña mediante la determinación de los índices ICOs teniendo en cuenta las variables fisicoquímicas necesarias.

2. METODOLOGÍA

La conservación de las muestras se realizó de forma *in situ*, siguiendo las “técnicas de preservación de muestras” estandarizada en los *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 21th, Edition, (2005)*.

Para cada una de las muestras recolectadas se emplearon equipos debidamente calibrados, material de vidrio y recipientes esterilizados, rotulados, y con los reactivos necesarios tanto para la medición *in situ* como para los análisis en el laboratorio. En la figura 1. se visualiza los seis puntos de muestreo, procurando en la medida de tomar distancias similares abarcando la totalidad de las dos fuentes hídricas de estudio.

Figura 1. Ubicación Geográfica de los Puntos de Monitoreo y Toma de Muestra.



Fuente: QGIS Desktop 2.18.2

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo.

Nº	PUNTOS DE MUESTREO	COORDENADAS	
1	Carcel la Modelo	lat 8°14.485'	log 73°21.560'
2	Villa Margarita	lat 8°14.529'	log 73°21.247'
3	Parque de los Seguros	lat 8°14.968'	log 73°21.445'
4	La pradera	lat 8°13.614'	log 73°21.768'
5	Palomar	lat 8°14.133'	log 73°21.043'
6	La Gloria - Las Ferias	lat 8°15'59.62"	log 73°21'33.62"

Fuente: Elaboración propia.

Por cada punto se tomaron muestras puntuales cada 15 minutos por una hora, es decir, cinco muestras puntuales, tomando un volumen de 500 mL, conformando así una muestra compuesta de 2500 mL por cada punto de observación. El muestreo se realiza en temporada de lluvia como en temporada de estiaje.

El Método seleccionado para esta investigación se presenta como cualitativo porque se tiene en cuenta la descripción de algunas variables fisicoquímicas de agua y la caracterización de la misma, así como los aspectos visuales que se pueden distinguir y diferenciar en los cuerpos de aguas mencionados, teniendo en cuenta las condiciones físicas y medio ambientales de las zonas de estudio; pero también, cuantitativo debido a las mediciones de los parámetros de las aguas que se usaron para determinar la calidad del agua teniendo en cuenta los índices ICOs de ambas fuentes hídricas Tejo y Chiquito del municipio de Ocaña, ya que son resultados de carácter numérico y estadísticos, que permiten modelarse o graficarse; así mismo, porque se aplican las respectivas mediciones y monitoreos, como también los equipos respectivos que recogen y arrojan la información.

De acuerdo al estudio las variables fisicoquímicas y microbiológicas que se consideraron en el plan de muestreo para evaluar los índices de contaminación ICOs del agua para las dos fuentes hídricas se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO
POTENCIAL DE HIDROGENO	pH	SM-4500-H+B
CODUCTIVIDAD	µS/cm	SM-2510 B
OXIGENO DISUELTO	mg/L O ₂	SM-4500-0-B
DBO	mg/L O ₂	SM-5210B
ALCALIIDAD	mg/L CaCO ₃	SM-2320 B
DUREZA	mg/L CaCO ₃	SM-2340 C
FOSFATOS	mg/L	SM-4500-P D
DQO	mg/L O ₂	SM-5220D
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	SM-2540D
TURBIEDAD	NTU	SM-2130 B
COLIFORMES	UFC/100 mL	SM-9222

Fuente: Elaboración propia.

Colombia en los últimos años realiza la aplicación de los índices de contaminación (ICOs) que se utilizan para la determinación del nivel de calidad de las fuentes hídricas; en este estudio se toma como referencia los ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOPH (ver tabla 3 y 4).

Tabla 3. Tipos de indicadores de contaminación para agua empleados.

Índice	Formula
ICOMI	$ICOMI = \frac{1}{3}(I_{conductividad} + I_{dureza} + I_{alcalinidad})$ Conductividad, dureza y alcalinidad
ICOMO	$ICOMO = \frac{1}{3}(IDBO_5 + ICT + IOD)$ Demanda bioquímica de oxígeno, coliformes
ICOSUS	totales y oxígeno disuelto
ICOPH	$ICOSUS = 0,02 + 0,0003SS$ Sólidos suspendidos
	$ICOPH = \frac{e^{-31,08+3,45pH}}{1+e^{-31,08+3,45pH}}$ pH

Fuente. Ramírez, Restrepo y viña. (1997).

Tabla 4. Denominación y rangos de los ICOs.

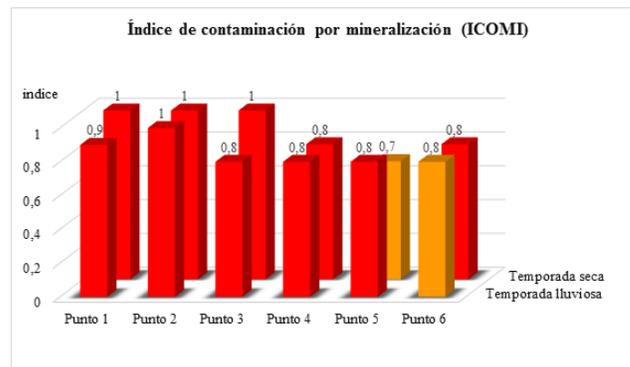
ICO	GRADO DE CONTAMINACIÓN	ESCALA DE COLOR
0,0 - 0,2	Ninguna	
> 0,2 - 0,4	Baja	
> 0,4 - 0,6	Media	
> 0,6 - 0,8	Alta	
> 0,8 - 1,0	Muy Alta	

Fuente. Ramírez, Restrepo y viña. (1997).

3. RESULTADOS

Teniendo en cuenta las ecuaciones de la tabla 3. Se construyeron las siguientes graficas de barras en las cuales se puede observar la tendencia de los ICOs en los diferentes puntos de muestreo durante ambas temporadas del año.

Gráfica 1. Evaluación de la calidad del agua mediante el índice de contaminación por mineralización.

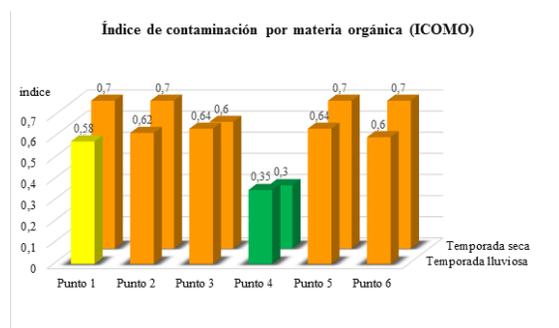


Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 1. se evidencia la tendencia de los índices ICOMI para las dos temporadas de muestreo; en la temporada lluviosa se observa que los puntos 1 y 2, (Cárcel Modelo y Villa Margarita respectivamente) alcanza el mayor grado de contaminación por mineralización, mientras los demás puntos se clasifican con un grado de contaminación alto. En temporada de estiaje se observa que los puntos 1, 2 y 3 (Cárcel Modelo, Villa Margarita y parque de los Seguros) alcanza el mayor grado de

contaminación por mineralización, mientras que los demás puntos presentan un alto grado de contaminación por mineralización. Los valores de ICOMI se vieron influenciados en gran parte por la conductividad eléctrica, con unas medidas entre 600 a 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en temporada de lluvia, y en temporada de estiaje entre 300 a 970 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esto puede asociarse principalmente a los vertimientos puntuales de los residuos domésticos y a los sólidos disueltos (PO_4^{3-} , Na^+ , K^+) presentes en las fuentes hídricas. Para la alcalinidad en las dos temporadas el rango de concentración se mantiene entre 200 y 300 mg/L CaCO_3 ; en cuanto a la dureza durante las dos temporadas la concentración es baja, obteniéndose rangos entre 100 y 200 mg/L de CaCO_3 .

Gráfica 2. Evaluación de la calidad del agua mediante el índice de contaminación por materia orgánica.

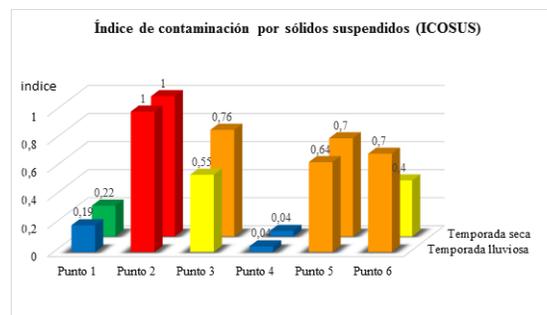


Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 2. se evidencia la tendencia de los índices ICOMO para las dos temporadas de muestreo; los valores del índice para el punto 4 (La Pradera) son los más bajos (0.3) debido a que este punto es el inicio del cuerpo de agua dentro del casco urbano para el río Chiquito. En los demás puntos los valores oscilan entre 0,6 y 0,7 lo que señala que hay una contaminación por materia orgánica media en toda la fuente hídrica. Como es bien sabido los coliformes son contaminantes habituales para el tracto gastrointestinal de los individuos de una

población; al elevarse la concentración de materia orgánica por vertimientos y por escorrentía también aumentan los coliformes totales y por lo que disminuye la cantidad oxígeno disuelto, y por ende incrementa el valor del ICOMO.

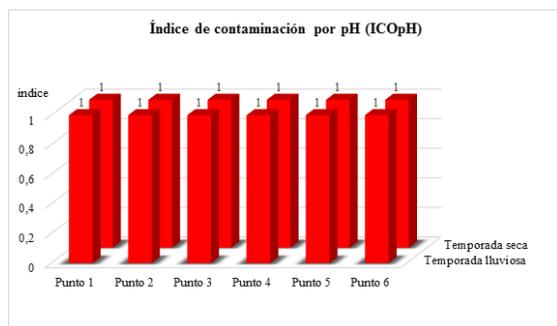
Gráfica 3. Evaluación de la calidad del agua mediante el índice de contaminación por sólidos suspendidos.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 3. se evidencia la tendencia de los índices ICOSUS para las dos temporadas de muestreo; en los puntos 1 y 4 (Cárcel Modelo y La Paradera) no presentan ninguna contaminación por sólidos suspendidos. El sector de villa margarita (punto 2) en comparación con el sector de la modelo (punto 1), presenta 8 índices más arriba de contaminación por sólidos suspendidos (SS); además se evidencia que los SS presentan un índice de 1 con un grado de contaminación muy alto. Los demás puntos de muestreo se observa una homogeneidad de los datos para este índice de contaminación. A excepción del sector Villa Margarita (punto 2), los demás puntos de muestreo mantienen un nivel de ninguno a medio a pesar de que se evidenció gran cantidad material flotante y alta turbiedad en toda la fuente hídrica.

Gráfica 4. Evaluación de la calidad del agua mediante el índice de contaminación por pH.

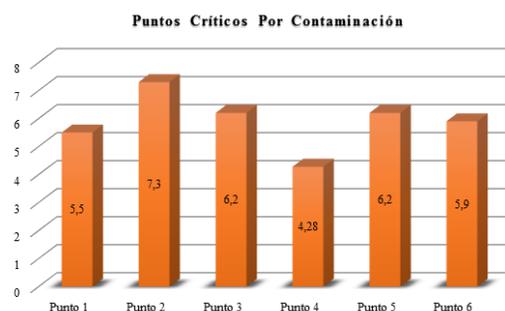


Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4. se evidencia la tendencia de los índices ICOpH para las dos temporadas de muestreo; El análisis de los datos presentó un rango de variación natural promedio cercano a dos unidades, es decir, en las dos temporadas de muestreo el pH tuvo una variación entre 6.9 y 8.2, siendo esta una condición natural de los cuerpos de agua. Ramírez (1997) explica que ocasionalmente las correlaciones entre el pH y variables de mineralización ocurren por la estrecha dependencia entre la alcalinidad de las aguas (sistema carbonato – bicarbonato y dióxido de carbono) y el pH. Teniendo en cuenta lo anterior el pH no se tiene en cuenta en el ICOMI ya que al ser naturalmente alto sesgaría la estimación de la calidad del cuerpo de agua.

La identificación de los puntos críticos de contaminación se realizó con base a los resultados de los análisis y a la evaluación de su calidad a través de los ICOs. Realizando la sumatoria de todos los índices al que corresponde para cada punto.

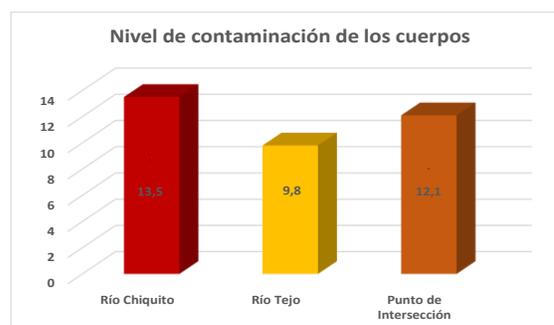
Gráfica 5. Identificación de los puntos críticos o contaminados.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 5. se aprecia los puntos críticos o contaminados; se evidencia que el punto más contaminado es el punto 2 del sector de Villa margarita, posterior el punto 3 del sector Parque los seguros y el punto 5 del sector Palomar con un punto crítico de 6.2; el punto 6 del sector las Ferias con un punto crítico de 5.9, luego el punto 1 del sector Cárcel la modelo con un punto crítico de 5.5 y por último el punto 4 del sector la Pradera con un valor de 4.3.

Gráfica 6. Nivel de contaminación de los cuerpos.



En la figura 6. se observa que el río más contaminado es el Chiquito, que el tramo después de la unión de ambos ríos presenta una mayor contaminación que el río Tejo. De acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio de aguas de la universidad y la evaluación de la calidad del agua mediante la implementación de los índices ICOS, el río Chiquito es el más crítico en contaminación en comparación con el río Tejo.

4. CONCLUSIONES.

Con la realización de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de cada punto de muestreo en temporada de lluvia y temporada de estiaje, se permitió conocer los valores exactos por parámetro; no obstante los parámetros analizados en temporada de estiaje presentaron valores más altos en contaminación, en comparación con los analizados en temporada de lluvias, dado a que la presencia de precipitaciones sometió a los ríos a una mayor dilución del agua debido al aumento del caudal, a una mayor movilidad y agitación del mismo.

Teniendo en cuenta los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y a la evaluación de la calidad del agua, se identificaron que las causas más representativas que afectan a los ríos es la presencia de descargas y vertimientos domésticos, la sobreacumulación de residuos, la presencia de detergentes, tensoactivos, elementos ácidos, sustancias con gran contenido de calcio, a la materia orgánica, a la concentraciones altas en fosforo, a la turbiedad, al arrastre de partículas y sedimentos.

Los ICOs fueron creados para estimar diferentes problemas ambientales; no están correlacionados entre sí, pero se complementan, por lo que son necesarias pocas variables para realizar un diagnóstico a un problema en cuestión.

Los ICOs hacen referencia a los mecanismos de contaminación que sufren las fuentes hídricas, con lo cual, a partir de

ellas el ICOMO es el índice más importante que se trabajó en esta investigación, debido a que se puede analizar el estado del cuerpo agua afectado por actividades antrópicas, vertimientos de aguas domésticas e industriales.

La evaluación de la calidad ICOMI en los diferentes puntos presentó grados de contaminación muy alta y alta, debido al aumento de la dureza indicando la presencia de partículas de calcio y magnesio, así mismo, a la presencia alta de sustancias que se ionizan y que están disueltas causante del gran aumento de la conductividad.

La evaluación por ICOSUS presentó una variación con grados de contaminación muy alta, alta, media, baja y ninguna; esta variación, se da debido a que en algunos puntos se genera un mayor material de arrastre y partículas coloidales.

A través de la evaluación de la calidad del agua de los ríos Tejo y Chiquito mediante la utilización de puntos de muestreo, se identificó el río más crítico por contaminación; en la que se evidenció que el cuerpo de agua más afectado es el río chiquito, dado a la presencia de altas cargas contaminantes.

Teniendo en cuenta lo antes descrito, se sugiere la formulación y la aplicación de un plan de ordenamiento ambiental, acciones en saneamiento y manejo de vertimientos que sean participativos e incluyentes, cuya base de formulación tenga atributos ecológicos y conciencia de los bienes y servicios que estos ofrecen.

1. FINANCIACIÓN

Los autores agradecen al laboratorio de aguas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

2. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Ocaña. (2012). *Sistema de documentación e información municipal*. Recuperado el 14 de 08 de 2017, de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/oca%C3%B1anortedesantanderpd20122015.pdf>

Alcaldía de Ocaña. (2016). http://www.ocana-nortedesantander.gov.co/Nuestros_planes.shtml?apc=gbPlan%20de%20Desarrollo%20Municipal-1-&x=2843808. Recuperado el 14 de 08 de 2017, de http://www.ocana-nortedesantander.gov.co/Nuestros_planes.shtml?apc=gbPlan%20de%20Desarrollo%20Municipal-1-&x=2843808

Arcos Pulido, M., Ávila de Navia, S. L., Estupiñán Torres, S. M., & Gómez Prieto, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Revista Nova*, 69-79.

CORPONOR. (2012). www.corponor.gov.co. Recuperado el 14 de 08 de 2017, de <http://www.corponor.gov.co/corponor/planaccion20072012/2SINTESISAMBIENTALPlanacc20072012.pdf>

García, L. E. (2014). <http://academiaocana.blogspot.com>.

co/. Recuperado el 15 de 08 de 2017, de <http://academiaocana.blogspot.com.co/2014/03/ocana-la-sequia-y-la-contaminacion.html>

Pinilla, C. C. (2004). Indicadores de contaminación fecal en aguas. . En R. I. Agua, *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas* (págs. 224-229). RIPDA- CYTED © CYRA-UAEM. Recuperado el 15 de 08 de 2017, de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsair/e/repindex/rep184/vle/fulltext/acrobat/agua.pdf>

Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 135-153.

American Public Health Association. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (21 ed.). (P. C. Federation, Ed.) New York, Estados Unidos: Americas Water Works Association.