

Evaluación de la calidad del agua en la fuente abastecedora de Pitalito – Huila: Río Guachicos y sus afluentes principales, utilizando los índices de contaminación e índice de calidad de agua

Evaluation of the Water Quality in the Supply Source of Pitalito - Huila: Guachicos River and its Main Tributaries, Using the Pollution Indexes and the Water Quality Index

Silvia Alejandra Trujillo-Zapata^{a, b}, Claudia Patricia Cortés-Orozco,
Martha Cecilia Vinasco-Guzmán, Johan David Ortega-Astudillo^a,
Camilo Andrés Cruz-Ospina^a

RESUMEN

Los índices de contaminación y de calidad de agua permiten facilitar el entendimiento del panorama ambiental de los recursos hídricos. Inicialmente se evaluó la calidad de agua en el río Guachicos, municipio de Pitalito, Colombia y sus quebradas tributarias: Cedro, Roble, Caney, Aguas Negras y Maralla; utilizando los métodos fisicoquímicos y microbiológicos, en cuatro mediciones (abril, julio y septiembre de 2018, febrero de 2019), se calcularon el Índice de Calidad de Agua (ICA), Índice de contaminación por mineralización (ICOMI), Índice de contaminación orgánica (ICOMO), Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) y el Índice de contaminación Trófica (ICOTRO). Los valores del ICA, presentan aguas poco contaminadas en las fuentes Roble (0,52), Aguas Negras (0,50), Caney (0,53), Cedro (0,54), río Guachicos (0,52), a excepción de Maralla que muestra contaminación media con un valor de 0,33. Los índices ICOMI e ICOSUS presentan valoración baja; el ICOTRO indica hipereutrofia y el ICOMO presenta valores medio y alto, por alta carga orgánica. En el análisis de componentes principales presenta influencias positivas del río Guachicos en la parte alta y media, además de las quebradas Cedro y Caney; asociaciones entre El Roble, Aguas Negras y la desembocadura del río Guachicos, indicando valores medios de contaminación. La influencia negativa la tiene la quebrada Maralla, debida a su alto nivel de contaminación. El ICOMI y el ICOSUS no evidencian mayores influencias en el estudio

PALABRAS CLAVE: contaminantes químicos; parámetros microbiológicos; características fisicoquímicas; agua superficial; monitoreo ambiental.

ABSTRACT

Pollution indexes and water quality facilitate the understanding of the environmental panorama of water resources. Initially, the water quality in the Guachicos river, Pitalito municipality, Colombia and its tributary streams: Cedro, Roble, Caney, Aguas Negras and Maralla, were evaluated using physicochemical and microbiological methods in four measurements, April, July and September 2018, February 2019. The water quality index (ICA), the mineralization contamination index (ICOMI), the organic contamination index (ICOMO), the suspended solids contamination index (ICOSUS) and the contamination index were calculated trophic (ICOTRO). The ICA values show slightly contaminated waters in the sources Roble (0,52), Aguas Negras (0,50), Caney (0,53), Cedro (0,54), Río Guachicos (0,52), with the exception of Maralla, which shows average contamination with a value of (0,33). The ICOMI and ICOSUS indices present low evaluation; ICOTRO indicates hyperetrophy and ICOMO presents medium and high values due to the high organic load. In the principal component analysis, it shows positive influences of the Guachicos river in the upper and middle part, in addition to the Cedro and Caney streams; associations between. El Roble, Aguas Negras and the mouth of the Guachicos river, indicating average contamination values. The Maralla ravine has a negative influence, due to its high level of contamination. ICOMI and ICOSUS did not show major influences in the study.

KEY WORDS: chemical contaminants; microbiological parameters; physicochemical characteristics; superficial water; environmental monitoring.

a Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA). Pitalito, Colombia. ORCID Trujillo-Zapata, S.A.: 0000-0002-4205-5988; ORCID Cortes-Orozco, C.P.: 0000-0002-2869-9779; ORCID Vinasco-Guzmán, M.C.: 0000-0001-8233-0801, ORCID Ortega-Astudillo, J.D.: 0000-0002-9178-1927; ORCID Cruz-Ospina, C.A.: 0000-0003-2426-1099

b Autor de correspondencia. silvia.trujillo@unad.edu.co

Recepción: 18 de Noviembre de 2019. Aceptación: 24 de Abril de 2020

Introducción

Los índices de contaminación (ICO's), tienen como objeto evidenciar con una expresión numérica las características de una fuente de agua definiendo su grado de calidad, permitiendo detectar problemas de contaminación si se utilizan de manera periódica (Ramírez et al., 1997), estos índices propuestos por (Ramírez et al., 1997) se basan en técnicas de agregación de variables que explican diferentes mecanismos de contaminación, se hace a partir de ecuaciones que contemplan un amplio rango de variación de las variables. Su determinación requiere la medición de parámetros como oxígeno disuelto, Coliformes, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fosfatos, temperatura del agua, alcalinidad, dureza, conductividad y sólidos suspendidos.

Los valores del índice de calidad de agua como el ICA son de uso recurrente en Colombia, aunque se reconoce por parte del IDEAM que se presenta baja densidad en los puntos de recolección, poca sistematización y problemas en la estandarización de procedimientos para su cálculo (Samboni et al., 2007). Este Índice de calidad de agua presenta valores de contaminación entre cero y uno y se calcula utilizando ecuaciones que permiten estimar los valores y cuantificar el nivel de contaminación (IDEAM, 2007a).

En el libro *Water quality in the Americas* (Roldán et al., 2019), en el capítulo de Colombia, se reporta que el ICA en 226 puntos de muestreo en todo el país, presenta un 36 % de valores entre 0,71 y 0,83 con aceptable calidad de agua, el 41% de las fuentes tienen valores entre 0,51 y 0,70 indicando calidad de agua promedio, el 22% de agua con valores entre 0,27 y 0,50, indicando condiciones malas de calidad y un 1% de agua con calidad muy mala.

De acuerdo a los reportes oficiales del (IDEAM, 2012) desde el 2006, en el punto de la desembocadura del río Guachicos en el río Guarapas, se presentan valores de ICA promedio con seis variables se encuentran entre 0,65 en el 2006, 0,75 en el 2007, 0,76 en el 2008, 0,81 en el 2009, 0,76 en el 2010, 0,79 en el 2011, en 2012 no hay reporte y 0,78 en el 2013, último año en que se encuentran datos, indicando aguas de calidad aceptable.

En el informe de resultados de la vigilancia de calidad de agua del año 2016 (Minsalud, 2018), con

el cálculo del IRCA (Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano), se presenta el Huila como un departamento con niveles de riesgo alto en la zona rural, con valores promedio de 60,7 y específicamente en Pitalito de 63,4, siendo esta el agua que consumen los habitantes de la zona rural, donde se cuenta con sistemas de distribución de agua sin tratamiento y que indica un agua no apta para el consumo humano.

Lo anteriormente expuesto resalta la importancia de analizar el comportamiento de la calidad de las aguas de los principales afluentes de la cuenca hidrográfica del Río Guachicos, permitiendo obtener una base de datos necesaria e importante para plantear acciones de educación ambiental, que contemple entre otros aspectos la participación de la comunidad y redunde en mejoras de la calidad de agua que ingresa a la planta de tratamiento del acueducto de Pitalito y así contribuir al desarrollo sostenible de la región mejorando el bienestar y la calidad de vida de los actores de dicha problemática, de igual manera generar conciencia ambiental de cada uno de los servicios ecosistémicos (fauna, flora), que aportan los afluentes como parte importante de los sistemas hídricos y ecológicos de la cuenca del Río Guachicos.

Finalmente, el proyecto desarrolló como objetivo principal la determinación de la variación de la calidad de agua de los principales afluentes que surten el acueducto del municipio de Pitalito, mediante la medición de indicadores ambientales, índice de calidad de agua ICA e índices de contaminación: ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO, y por último se realizó la propuesta un plan de educación ambiental para el mejoramiento de la calidad de agua que surte el acueducto de Pitalito.

Materiales y métodos

Para la presente investigación se realizaron los cálculos del índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA), índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) e índice de contaminación por trófica (ICOTRO).

Área de estudio

De acuerdo con Lizcano (2007), el río Guachicos, nace en la vereda Porvenir (corregimiento de Bruselas, Municipio de Pitalito-Huila, Colombia) (Figura 1). A lo largo de su recorrido de 45 km, hasta la desembocadura en el río Guarapas, recibe la descarga de 172 afluentes. La microcuenca del río Guachicos está ubicada en el Parque Natural Municipal que lo conforman las Veredas: Porvenir, Kennedy, Palmito, La Esperanza, Pensil, Monte Cristo y el Cedro

La cuenca del río Guachicos tiene un área de protección en el Parque Natural Municipal con una extensión de 5.000 ha y es abastecedora de la zona urbana de Pitalito, 33 veredas del Corregimiento de Bruselas y siete veredas del Corregimiento de Criollo, como también los minidistritos de riego: San Francisco y Cabeceras, Holanda, El Limón. Además, se encuentra la principal fuente de recursos económicos de Pitalito representadas en más de 4.500 ha de café en unos 2.500 predios (Consejo Municipal Pitalito, 2016).

Para clasificar los cauces afluentes al río Guachicos se aplicó el método utilizado por el IDEAM teniendo como cauce de primer orden el río Magdalena (CAM, 2009). En este documento se determina las quebradas tributarias que aportan mayor caudal al río Guachicos, como son El Cedro, La Muralla, Caney, El Roble y Aguas Negras 4° orden. Se definió para la investigación realizar el muestreo en estos afluentes principales, además del río Guachicos en tres puntos (alto, medio y bajo) Tabla 1. La toma de muestras se llevó a cabo en 4 oportunidades (abril de 2018, julio de 2018, septiembre de 2018 y febrero de 2019).

Para la realización de los muestreos se tuvieron en cuenta tanto periodos secos como lluviosos (CAM, 2009), de acuerdo con los registros del IDEAM estación Insfopal (2101011), localizada en el municipio de Pitalito a una elevación de 1.265 msnm, instalada en el mes de marzo de 1971, que actualmente se encuentra en operación por parte del IDEAM y cuenta con registros desde la fecha de su instalación hasta octubre de 2008 (37 años). En el periodo 1981-2007, la estación registró una precipitación media multianual de 1.305 mm. La precipitación presenta un régimen monomodal, donde los meses de mayores precipitaciones se presentan de marzo a julio, mientras el periodo con menores lluvias es el comprendido entre los meses de agosto y febrero con un leve incremento en el mes de noviembre.

La toma de muestras se realizó en el periodo comprendido entre abril de 2018 hasta febrero de 2019, con un total de cuatro (4) muestreos, en los cuales se tomaron ocho (8) muestras en los puntos descritos anteriormente, por cada muestreo cuatro (4), para un total de treinta y dos (32) muestras en el tiempo del estudio.

La zona de investigación se encuentra en el área de influencia del Macizo Colombiano, predominando el tipo de bosque húmedo premontano (Bh-PM) de acuerdo a Holdrige (1967) comprende un área de Bosque natural lluvioso amazónico de la región sur de Colombia, asociado a ecosistemas de explotación de acuerdo con criterios de ordenación de bosques efectuado por la Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC. A nivel general, la zona se caracteriza por poseer una topografía ondulada a muy fuerte y pendientes que varían entre leves y

Tabla 1. Ubicación de los principales afluentes parte del estudio

No.	Punto de muestreo	Zona	Vereda Ubicación	Latitud (N)	Longitud (W)
1	El Roble	Baja	Centro poblado de Bruselas	1°46'42.1"	76°10'41.4"
2	La Maralla	Baja	Vereda Hacienda, Bruselas	1°46'42.5"	76°11'13.2"
3	Caney	Baja	Vereda Hacienda, Bruselas	1°46'30.5"	76°11'41.3"
4	Aguas Negras	Baja	Vereda Bombonal, Bruselas	1°46'07.4"	76°12'18.0"
5	El Cedro	Baja	Vereda Bombonal, Bruselas	1°46'52.3"	76°09'48.5"
6	Río Guachicos	Alta	Porvenir	1°44'01.0"	76°13'57.6"
7	Río Guachicos	Media	Bombonal	1°45'57.3"	76°12'18.9"
8	Río Guachicos	Baja	Bocatoma	1°52'09.7"	76°08'30.2"

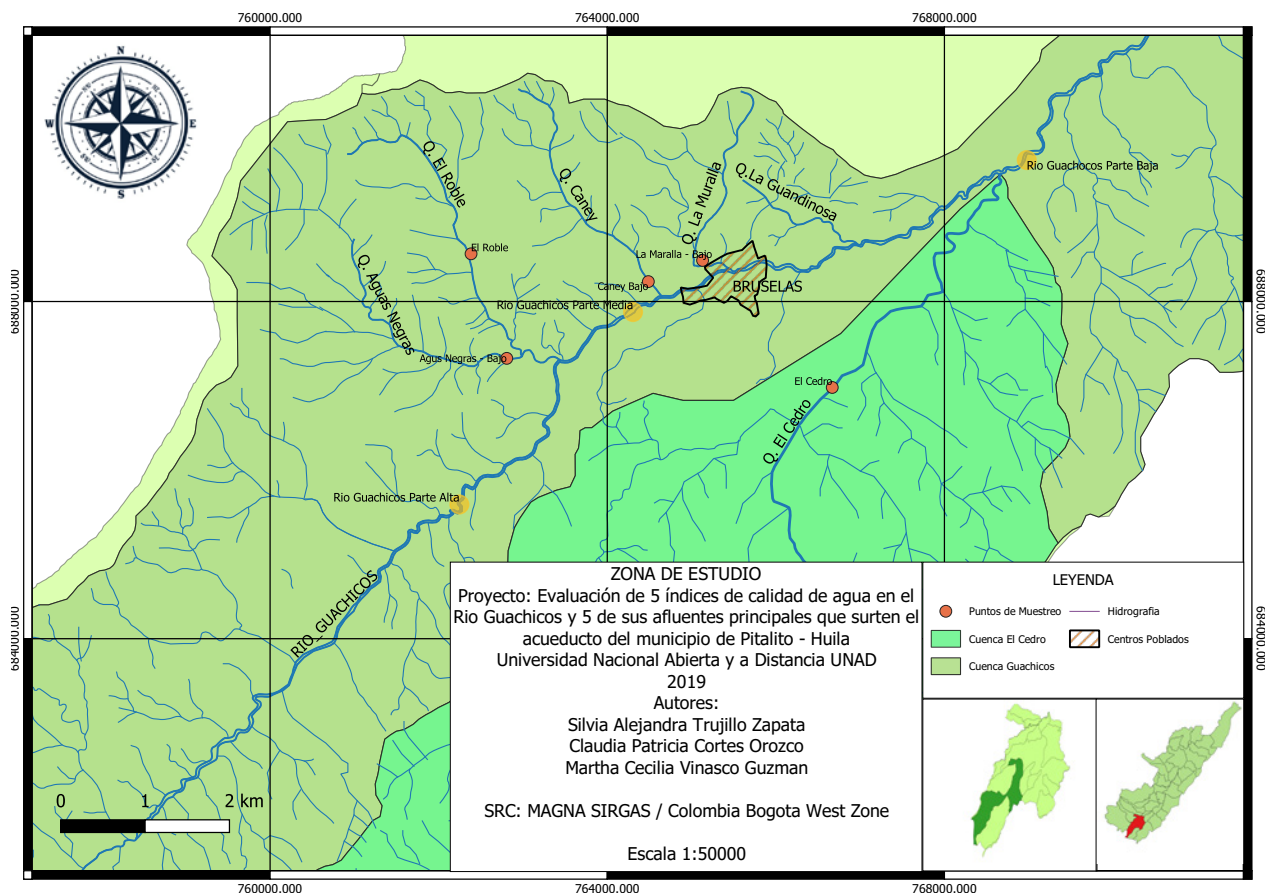


Figura 1. Localización geográfica puntos de muestreos en el área de estudio. Fuente: elaboración propia

moderadas en las partes bajas y fuertes en los sectores más altos del municipio, en donde se presentan y desarrollan actividades productivas agropecuarias, cuya principal producción corresponde al café y cultivos de clima frío.

Procedimiento de muestreo

La investigación se realizó colectando muestras en ocho puntos: en las partes alta, media y baja del río Guachicos y en las partes bajas de cinco de sus quebradas tributarias: El Cedro, La Maralla, El Caney, Aguas Negras y El Roble. Es de anotar que el río Guachicos es la fuente abastecedora del acueducto del municipio de Pitalito, que surte de agua a 100.000 habitantes de su área urbana y tuvo como aliado estratégico a la Empresa de Servicios Públicos de Pitalito (EMPITALITO). Los muestreos se hicieron en los meses de abril, julio (temporada de lluvias) y septiembre de 2018 y febrero de 2019 (temporada seca).

Para el desarrollo del proyecto se tomaron las muestras de acuerdo con lo considerado en el Instructivo para la toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad del (IDEAM, 2017).

A continuación, se especifican los parámetros medidos en campo y en laboratorio, relacionando el método utilizado:

Cálculo de índices

Para el cálculo de los índices de calidad de agua ICO's, se desarrolló la metodología propuesta por Ramírez et al. (1997): “cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación”, quienes determinaron los índices 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 trófia del sistema.

Tabla 2. Parámetros determinados en el estudio

Parámetro	Lugar de determinación	Método utilizado
pH	Campo	Multiparamétrico HANNA HI98194
Oxígeno disuelto	Campo	Multiparamétrico HANNA HI98194
Conductividad	Campo	Multiparamétrico HANNA HI98194
Dureza	Campo	Kit de prueba HI 3812 de análisis de dureza El nivel de dureza como mg L^{-1} (ppm) de carbonato de calcio es determinado por una titulación de EDTA
Alcalinidad	Campo	HI 3811 Test Kit de HANNA Alcalinidad
Fósforo	Campo	Kit de prueba HI 3833 Test Kit de HANNA niveles de ortofosfato determinado por un método colorimétrico
Nitritos	Campo	kit de prueba HI 3873 de HANNA determina la concentración de nitrito en agua mediante cubo de comparación de color
Sólidos suspendidos totales	Laboratorio EMPITALITO	Filtración
Cloro residual	Laboratorio EMPITALITO	Fotométrico
Color aparente (UPC)	Laboratorio EMPITALITO	Fotométrico
Turbiedad (UNT)	Laboratorio EMPITALITO	Nefelométrico
DBO	Laboratorio EMPITALITO	Espectrometría
DQO	Laboratorio EMPITALITO	Espectrometría
Coliformes totales	Laboratorio EMPITALITO	F*M
<i>Escherichia coli</i>	Laboratorio EMPITALITO	F*M

Fuente: elaboración propia

Los cálculos de los índices se hicieron siguiendo las recomendaciones del documento Informe Final Contrato 111/2007 Aspectos científicos y técnicos de la aplicación de los índices de calidad de agua en ríos, Capítulo II: Experiencias Internacionales y Nacionales de Aplicación de Indicadores de Calidad o Contaminación del Agua (IDEAM, 2007a).

En cuanto al Índice de Calidad de Agua (ICA) acorde a lo determinado por IDEAM (hoja metodología versión 1,00) con el índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA) (IDEAM, 2013). El indicador refleja las condiciones físico-químicas generales de la calidad de una corriente de agua, y en alguna medida permite reconocer problemas de contaminación de manera ágil en un punto determinado en un intervalo de tiempo específico y conceptuar respecto a las posibilidades o limitaciones del uso del agua para determinadas actividades. Su formulación posibilita evaluar una amplia cantidad de recursos hídricos en forma periódica.

Análisis de datos

Se incluyen además de los resultados obtenidos en el cálculo de los índices, análisis estadísticos por medio de dendrogramas para evidenciar cómo se forman los conglomerados en cada paso y para

evaluar los niveles de similitud (o distancia) de los conglomerados que se forman, lo que permite relacionar los valores estimados de las variables utilizadas, por medio del software Past.

También, se realizó un análisis clúster utilizando el software Minitab 18 (Minitab, 2019), con el que se pretende encontrar un conjunto de grupos a los que ir asignando los distintos datos por algún criterio de homogeneidad. Por lo tanto, se definió una medida de similitud o bien de divergencia para ir clasificando a los datos en unos u otros grupos.

Resultados

Los valores de las variables obtenidas para los cálculos se pueden verificar en el Anexo 1.

El cálculo del ICA con seis variables arrojó los resultados presentados en la Tabla 3.

El ICA presenta valores menores entre 0,5 en el primer muestreo en las quebradas El Roble y Aguas Negras indicando mediciones con mala calidad de agua; se presentan promedios ligeramente superiores a 0,5 para las fuentes río Guachicos en sus tres puntos, El Roble, Aguas Negras y El Cedro, indicando aguas poco contaminadas de calidad regular. La quebrada La Maralla en todas las mediciones

presenta agua de mala calidad con altos niveles de contaminación, como lo indica la Tabla 3.

El cálculo del Índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS se presenta en la Tabla 4.

El índice ICOSUS trabaja con la concentración de sólidos suspendidos que se definen como partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se

mantienen en suspensión en una solución. Los valores presentados oscilan entre 0,08 y 0,26; indicando una cantidad baja o muy baja de sólidos suspendidos en los puntos de monitoreo, lo que demuestra que los valores de las lecturas de cantidad de sólidos suspendidos totales son muy bajas y por ende no generaran problema alguno para la salud o el desarrollo

Tabla 3. Resultados del cálculo del Índice de Calidad de Agua ICA

Punto de Monitoreo	ICA Muestreo 1	ICA Muestreo 2	ICA Muestreo 3	ICA Muestreo 4	Promedio	Clasificación ICA
Río Guachicos Alta	0,52	0,51	0,52	0,51	0,52	Poco contaminado
Río Guachicos Media	0,54	0,51	0,52	0,51	0,52	Poco contaminado
Río Guachicos Baja	0,52	0,51	0,52	0,51	0,52	Poco contaminado
El Roble	0,46	0,51	0,52	0,51	0,5	Poco contaminado
Aguas Negras	0,45	0,51	0,52	0,51	0,5	Poco contaminado
Caney	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	Poco contaminado
Maralla	0,33	0,4	0,3	0,3	0,33	Contaminado
Cedro	0,56	0,52	0,58	0,51	0,54	Poco contaminado

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Resultados del ICOSUS para los cuatro muestreos

Punto de monitoreo	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		Muestreo 4	
Guachicos Alta	0,08	Muy baja	0,08	Muy baja	0,09	Muy baja	0,08	Baja
Guachicos Media	0,09	Muy baja	0,08	Muy baja	0,13	Muy baja	0,09	Baja
Guachicos Baja	0,11	Muy baja	0,11	Muy baja	0,10	Muy baja	0,11	Baja
Aguas Negras	0,14	Muy baja	0,11	Muy baja	0,09	Muy baja	0,13	Baja
El Roble	0,12	Muy baja	0,11	Muy baja	0,09	Muy baja	0,12	Baja
Caney	0,13	Muy baja	0,12	Muy baja	0,14	Muy baja	0,13	Baja
Maralla	0,18	Muy baja	0,09	Muy baja	0,14	Muy baja	0,21	Muy Baja
El Cedro	0,10	Muy baja	0,10	Muy baja	0,26	Baja	0,10	Baja

Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Resultados del ICOMI para los cuatro muestreos

Punto de monitoreo	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		Muestreo 4	
Guachicos Alta	0,23	Baja	0,22	Baja	0,23	Baja	0,22	Baja
Guachicos Media	0,23	Baja	0,22	Baja	0,23	Baja	0,23	Baja
Guachicos Baja	0,24	Baja	0,23	Baja	0,24	Baja	0,24	Baja
Aguas Negras	0,25	Baja	0,24	Baja	0,26	Baja	0,25	Baja
El Roble	0,24	Baja	0,24	Baja	0,25	Baja	0,24	Baja
Caney	0,25	Baja	0,24	Baja	0,26	Baja	0,25	Baja
Maralla	0,28	Baja	0,29	Baja	0,33	Baja	0,30	Baja
El Cedro	0,23	Baja	0,23	Baja	0,23	Baja	0,23	Baja

Fuente: elaboración propia

de las actividades diarias de las personas que estén en contacto con el agua en la zona de estudio.

El cálculo del índice de contaminación por mineralización – ICOMI se puede observar en la Tabla 5.

El ICOMI es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables elegidas (conductividad, dureza y alcalinidad), las cuales se definen en un rango de 0 a 1; índices próximos a cero (0) reflejan muy baja contaminación por mineralización, e índices cercanos a uno (1), lo contrario.

Dado que los valores que van entre 0,22 y 0,30 son considerados como bajos, por tanto, no se presentan problemas de mineralización en la zona de estudio.

El ICOTRO determina la contaminación por trofia, a partir de las concentraciones de fósforo, para indicar los tipos de ortofosfatos que se presentan en la zona de estudio, que se pueden revisar en la Tabla 6.

El ICOTRO se fundamenta en la concentración del fósforo total. A diferencia de los índices anteriores, en los cuales se determina un valor particular entre 0 y 1, la concentración del fósforo total define por sí misma una categoría discreta a saber: oligotrofia: < 0,01; mesotrofia: 0,01-0,02; eutrofia: 0,02-1,00; hipereutrofia: > 1,00.

Los índices del ICOTRO presentan resultados de oligotrofia e indican baja biomasa de origen de fitoplancton, alta transparencia y baja concentración de sustancias húmicas y nutrientes y en mayor cantidad de hipertrofia, que pueden ser influenciados por los lixiviados de fertilizantes fosforados de los cultivos de café que son arrastrados por las aguas lluvias y las descargas de aguas residuales de los asentamientos humanos que se encuentran en la zona (RAPAL Uruguay, 2010).

El cálculo del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), se presenta en la siguiente Tabla 7.

El ICOMO se calcula a partir de los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, los cuales evidencian los efectos de la contaminación orgánica (Ramírez et al., 1997).

El ICOMO presenta evidencia de la alta carga orgánica vertida en las corrientes de agua, indicadores de presencia de desechos humanos y animales, aceites y grasas, herbicidas entre otros, que inciden en los bajos valores de oxígeno en el agua (Cañas, 2014).

Se evidencia una relación entre lo presentado con el ICOTRO, lo que demuestra una alta carga

Tabla 6. Resultados del ICOTRU para los cuatro muestreos

Punto de monitoreo	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		Muestreo 4	
Guachicos Alta	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia
Guachicos Media	0	Oligotrofia	1	Hipereutrofia	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia
Guachicos Baja	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	1	Hipereutrofia	1	Hipereutrofia
Aguas Negras	0	Oligotrofia	1	Hipereutrofia	1	Hipereutrofia	1	Hipereutrofia
El Roble	3	Hipereutrofia	2	Hipereutrofia	5	Hipereutrofia	5	Hipereutrofia
Caney	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	1	Hipereutrofia
Maralla	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	1	Hipereutrofia	5	Hipereutrofia
El Cedro	0	Oligotrofia	1	Hipereutrofia	3	Hipereutrofia	1	Hipereutrofia

Fuente: elaboración propia

Tabla 7. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) para dos momentos de muestreo

Punto de monitoreo	Muestreo 3		Muestreo 4		Promedio	
Aguas Negras	0,3724646	Baja	0,66323251	Alta	0,52	Media
El Roble	0,4141304	Media	0,66111617	Alta	0,54	Media
Caney	0,64980881	Alta	0,69260477	Alta	0,67	Alta
Maralla	0,7071772	Alta	0,7261714	Alta	0,72	Alta
El Cedro	0,35292879	Media	0,62079718	Alta	0,49	Media

Fuente: elaboración propia

relacionada a los desechos como lixiviados, presencia de fertilizantes sintéticos y pesticidas que son utilizados en la zona de estudio en los cultivos de café, aproximadamente 4500 ha de café, donde viven 1500 familias en esta zona rural (CAM, 2009).

Discusión

De los resultados obtenidos anteriormente, el índice de contaminación en el que se generan los registros más altos acorde con los límites de medición del mismo índice es el correspondiente al ICOMO, registrando un incremento gradual a medida que los afluentes se sitúan entre los puntos alto, medio y bajo del río Guachicos. Este comportamiento del ICOMO es paralelo con la densidad poblacional presente a lo largo de la rivera y en la misma proporción con la cantidad de descargas de agua residual doméstica y agrícola.

Sin embargo, estos resultados fueron consolidados a partir de los muestreos realizados en temporada seca y en meses que comprenden el tiempo previo y de postcosecha de café. En ese sentido, podría asociarse a una lectura de la variabilidad estacional de la calidad del agua relacionado con aspectos como; dinámica del cultivo predominante, las condiciones climáticas y el proceso de transporte de contaminantes (Yadav et al., 2019).

Por otra parte, el ICOTRO tiene un creciente dominio sobre los afluentes a lo largo del periodo de estudio. A causa de este fenómeno de hipereutrofia la cantidad de materia orgánica en el agua se eleva de tal forma que representa un aumento en la demanda biológica de oxígeno, en otras palabras, una falta de oxígeno en los afluentes y un problema de exceso de nutrientes y materia orgánica que están directamente relacionados con la disminución de la calidad del agua.

Es posible que esta situación se presente de forma cíclica derivada de la dinámica agrícola de la región, reiterando la fuerte influencia del tipo e intensidad del uso de la tierra sobre los cuerpos de agua receptores (Yadav et al., 2019). Por consiguiente, la fertilización en los meses de abril a mayo, y de octubre a noviembre, la producción de mitaca de café en el primer semestre y cosecha en el segundo semestre del año (González et al., 2014), se refleja en la

variabilidad de la calidad del agua del río Guachicos por cuenta del proceso de transporte de nutrientes y aumento de vertimientos directos de aguas residuales en las corrientes estudiadas.

Cabe destacar que resultados similares a los presentados en este estudio han sido expuestos en la investigación “Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOS) en cuerpos de agua por Cañas (2014), donde se relaciona directamente los resultados del ICOMO, con el ICOTRO y de igual forma se presenta una problemática asociada a un aumento en materia orgánica. Al mismo tiempo, Valverde-Solis et al. (2015) en su artículo “Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano utilizando índices de contaminación”, concluyen que 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. Situación relacionada con los resultados de este estudio.

Así mismo, Mello et al. (2017) obtuvieron como resultado de su estudio “Riparian restoration for protecting water quality in tropical agricultural watersheds”, que la restauración del bosque ribereño podría reducir entre 8-23 % las cargas de sedimentos y nutrientes, respectivamente. Sin embargo, aunque el río Guachicos nace dentro del área de reserva natural sin intervención humana, el punto de muestreo de la zona alta se encuentra más abajo rodeado ligeramente de viviendas y conserva un margen no muy robusto de vegetación ribereña, mientras que la zona media del río y sus afluentes están estrechados por cultivos, construcciones habitacionales ubicadas a la orilla y vías de acceso al área rural. Más adelante el río atraviesa el casco urbano del corregimiento, condiciones que limitan de forma drástica el papel del bosque ribereño en la calidad del agua de estas fuentes.

Ahora bien, con el fin de analizar los valores de los índices ponderados ICA, ICOMI, ICOSUS e ICOMO, se realizó un análisis de componentes principales, el cual permite relacionar las fuentes que presentan características similares por asociaciones, partiendo de los resultados obtenidos en el cálculo de los índices y de igual forma, cuál de ellas presenta

total disociación de las demás; este resultado se presenta en la Figura 2.

La Figura 2 presenta las relaciones de los coeficientes de cada variable para el primer componente ICA *versus* los coeficientes para el segundo componente ICOMO; las influencias positivas las tienen el río Guachicos en la parte alta y media, las quebradas El Cedro y El Caney con valores cercanos a 0,1; se presentan asociaciones entre El Roble, Aguas Negras y la desembocadura del río Guachicos parte baja, puesto que presentan índices medios de contaminación. La disociación fue encontrada para la quebrada La Maralla, que presenta valores cercanos a 0,228 y se asocia a un alto nivel de contaminación.

Dado que la atribución del El Roble y Aguas Negras se ve amortiguada sobre el punto medio del

río Guachicos, al ubicar este último en una zona de mejor calidad de agua que sus afluentes, se guarda coherencia con lo señalado por Perrin et al. (2018) que en su estudio “Comparison of index systems for rating water quality in intermittent rivers”, afirma que diferentes índices de calidad de agua reconocen una mejora general de la calidad del agua en condiciones de alto flujo, especialmente aguas abajo. Lo anterior no se puede reafirmar para la parte baja del río, considerando que sus afluentes Caney y El Cedro, están catalogadas en una mejor calidad de agua. Sin embargo y por la ubicación de este punto, el resultado también relaciona la afectación generada por las aguas residuales domésticas del casco urbano del corregimiento de Bruselas que sin previo tratamiento son vertidas a la fuente.

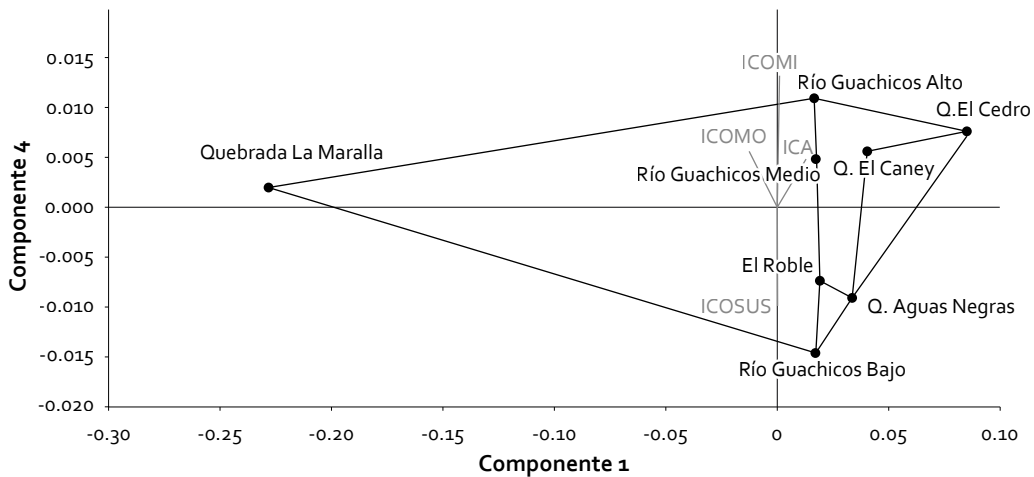


Figura 2. Análisis de componentes principales. Fuente: elaboración propia

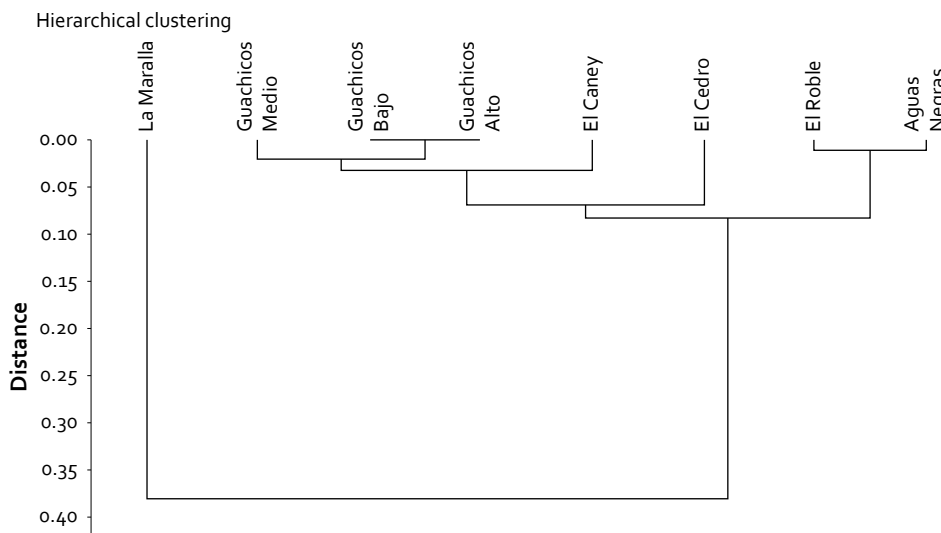


Figura 3. Análisis de conglomerados de los valores de ICA para las quebradas estudiadas. Fuente: elaboración propia

Por otra parte, la Figura 2 evidencia que los valores altos del ICA, generan bajos valores del ICOMO, que puede explicar los problemas de la alta carga orgánica presentada en las quebradas analizadas y se evidencia en los problemas de Hipereutrofia por contaminación derivada de las actividades antrópicas y de lixiviados de los cultivos de café ya mencionados; además, el ICOMI y el ICOSUS no generan mayores influencias en la cuenca.

Un análisis de conglomerados de los valores de ICA (Figura 3), se pueden apreciar que las quebradas estudiadas presentan una relación entre los tres valores obtenidos en el río Guachicos, que a su vez se relacionan con el Caney y el Cedro y con la agrupación entre los valores entre El Roble y Aguas Negras. La máxima distancia la presenta la quebrada La Maralla, la cual presenta el ICA más bajo que determina aguas contaminadas.

Conclusiones

Los resultados mostraron que los problemas de contaminación se presentan principalmente por aporte de contaminantes de naturaleza orgánica y elementos con alto contenido de fósforo, provenientes de aguas residuales y agropecuarias que son vertidas a las afluentes, estos en su mayoría son compuestos aromáticos, fertilizantes y plaguicidas, lo que se refleja en los valores superiores de ICOMO e ICOTRO, que para el último muestreo en temporada seca, se encuentran aguas con hipereutrofia en los puntos de monitoreo y valores de ICOMO por encima de 0,6 por contaminación alta por materia orgánica, presentando una relación directa entre estos dos índices.

A pesar del alto contraste entre la parte alta del río Guachicos muy próxima al área de reserva natural, con presencia de bosque ribereño y menor cantidad de vertimientos directos por aguas domésticas, y la parte la baja del río, con ausencia de bosque ribereño, rodeado del asentamiento poblacional y receptor de mayor cantidad de vertimientos directos e indirectos, la variación del ICA es casi inexistente, ya sea por el volumen de caudal que limita su identificación, pero la incorporación del ICOMO y ICOTRO, lograr la representación más

cercana del estado de la variabilidad de la calidad del agua.

La metodología aplicada para la determinación de los índices de contaminación y calidad agua es sencilla y fácil de interpretar, representan una opción para la valoración cuantitativa, donde se pueden involucrar diferentes parámetros que son de gran importancia para en el estudio de la calidad y de la contaminación del agua, se logra establecer que para la fuente Maralla que presenta alta contaminación con índices ICOMO de 0,72, ICOTRU de hipereutrofia e ICA de 0,33, se deben dar restricciones de usos del agua.

Finalmente, se resalta la importancia del apoyo mutuo entre las instituciones, academia y comunidad en general, con el propósito de dar continuidad a estudios, donde los resultados presentan datos que servirán en la toma de decisiones para mejorar las condiciones ambientales. El control y vigilancia contribuirá para que los cuerpos de agua se puedan regular a las actividades que generan vertimientos y degradan su calidad. La implementación de prácticas agrícolas sostenibles y en especial la restauración de vegetación ribereña aportarían los primeros pasos para la mejora de la calidad del agua, recomendada especialmente en regiones donde el área de restauración forestal es limitada.

Referencias

- Cañas, S., 2014. Determinación y evaluación de índices de contaminación (Icos) en cuerpos de agua. Tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, CD.
- Consejo Municipal Pitalito, 2016. Plan de Desarrollo Municipio de Pitalito 2016-2019. Pitalito, Colombia.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), 2009. POMCH Río Guarapas. Neiva, Colombia.
- González, H., Sadeghian, S., Jaramillo, A., 2014. Épocas recomendables para la fertilización de cafetales. Avances Técnicos Cenicafé 442, 1-12.
- Holdridge, L., 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida», 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2007a. Aspectos científicos y

- técnicos de la aplicación de los índices de calidad de agua en ríos. Informe Contrato 111/2007. Bogotá DC.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2017. Toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad del IDEAM. M-S-LC-I004 v 1. Bogotá, DC.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2012. Colombia. Índice de calidad del agua promedio y mínimo, calculado con 5 y 6 variables, por año, según estación de monitoreo. 2005-2011. Grupo de Calidad Ambiental, Bogotá, DC.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2013. Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. Bogotá, DC.
- Lizcano, M., 2017. Conservación de nuestros ríos. Disponible en: <http://riosbruselas.blogspot.com.co/2017/05/rio-guachicos.html>; consultado: mayo de 2020.
- Ministerio de Salud y Protección Social (Minsalud). 2018. Informe Nacional de Calidad de Agua para Consumo Humano - INCA 2016. Bogotá, DC.
- Minitab, 2019. Soporte de Minitab 18: interpretar todos los estadísticos y gráficas para Análisis de componentes principales. Disponible en <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/multivariate/how-to/principal-components/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/>; consultado: Mayo de 2020.
- Mello, K., Randhir, T., Valente, R., Venttorazzi, C., 2017. Riparian restoration for protecting water quality in tropical agricultural watersheds. *Ecol. Eng.* 108(Part B), 514-524. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.06.049
- Perrin, J.-L., Salles, C., Bancon-Montigny, C., Raïs, N., Chahinian, N., Dowse, L., Rodier, C., Tournoud, M.-G., 2018. Comparison of index systems for rating water quality in intermittent rivers. *Environ. Monit. Assess.* 190, 70. DOI: 10.1007/s10661-017-6396-2
- Ramírez, A., Restrepo, R., Viña, G., 1997. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. *Formulaciones y aplicación. C.T.F Cienc. Tecnol. Futuro* 1(3), 135-153.
- RAPAL Uruguay, 2010. Contaminación y eutrofización del agua. Impactos del modelo de agricultura industrial. Montevideo.
- Roldán-Pérez, G., Campuzano, P. Calarcá, D., Molina, F., Rodríguez, D., Benjumea-Hoyos, C., Villabona-González, S., Ríos-Pulgarín, M., 2019. Water quality in Colombia. En: Roldan, G., Tundisi, J., Jiménez, B., ammen, K., Vaux, H., González E., Doria, M. (Ed.), *Water quality in the Americas. Risks and opportunities. Interamerican Network of Academies of Sciences (IANAS), México, DF.* pp. 191-225.
- Samboni Ruiz, N., Carvajal Escobar, Y., Escobar, J., 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27, 172-181.
- Schetagne, R., 1986. The use of multivariate methods in the interpretation of water quality monitoring data of a large northern reservoir. *Dev. Water Sci.* 27, 30-43. DOI: 10.1016/S0167-5648(08)70782-2
- Valverde-Solis, A., Moreno-Tamayo, E., Ortiz-Palacios, N., 2015. Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano utilizando índices de contaminación. *Invest. Biodiv. Desarro.* 34, 14-21.
- Yadav, S., Babel, M., Shrestha, S., Deb, P., 2019. Land use impact on the water quality of large tropical river: Mun River Basin, Thailand. *Environ. Monit. Assess.* 191, 614. DOI: 10.1007/s10661-019-7779-3