

**Determinación del estado de la calidad del agua y la contaminación en los afluentes  
del río Guachicos en la zona alta de la Sub-cuenca, en Pitalito Huila**

**Camilo Andrés Cruz Ospina  
Johan David Ortega Astudillo**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA  
Ingeniería Ambiental  
Pitalito  
2020**

**Determinación del estado de la calidad del agua y la contaminación en los afluentes del río  
Guachicos en la zona alta de la Sub-cuenca, en Pitalito Huila**

**Proyecto de investigación  
Para optar por el título de Ingeniero Ambiental**

**Camilo Andres Cruz Ospina  
Johan David Ortega Astudillo**

**Directora  
Magister Silvia Alejandra Trujillo Zapata**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA  
Ingeniería Ambiental  
Pitalito  
2020**

**Nota de aceptación**

---

**JURADO**

## **Dedicatoria**

Pitalito, Huila, marzo de 2019.

El presente proyecto de investigación lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de formación como profesionales.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

A nuestros hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A mi hija y conyugue que son la razón que me impulsa a continuar en la búsqueda de una mejor calidad de vida y en ser mejor persona.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el proyecto se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Camilo Andrés Cruz Ospina & Johan David Ortega Astudillo.

## **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres: Segundo y Luz Marina; y, José y Gladis, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros tutores de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, por haber compartido sus conocimientos a lo largo del programa de Ingeniería Ambiental, de manera especial, a la ingeniera Ambiental Silvia Trujillo Zapata y Claudia Cortes Orozco tutores de nuestro proyecto de investigación quienes ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docentes, y a los profesionales del laboratorio de la planta de tratamiento Guatipan y Ambilab por su valioso aporte para nuestra investigación.

## Resumen

En el presente proyecto de investigación se determinó la variación de la calidad de agua de los principales afluentes de la cuenca hidrográfica del río Guachicos y sus quebradas tributarias: Cedro, Roble, Caney, Aguas Negras y Maralla, que surten el acueducto de la zona urbana del municipio de Pitalito Huila, mediante el cálculo del Índice de Calidad de Agua ICA y los índices de contaminación ICOs, utilizando métodos fisicoquímicos y microbiológicos: pH, oxígeno disuelto, conductividad y Temperatura Dureza, Alcalinidad, Fósforo, y Nitritos, Turbiedad, color verdadero, Sólidos Suspendidos Totales, DBO, DQO *Coliformes totales* y *Escherichia Coli* , Por lo anterior se realizaron cuatro (4) muestreos: abril, julio y septiembre de 2018 y febrero de 2019. De acuerdo con los resultados para los valores del ICA, se presentan aguas con baja contaminación para las fuentes: Roble, Aguas Negras, Caney, río Guachicos y el Cedro con valores entre (0.50 - 0.54), la fuente maralla presenta una media contaminación con un valor de ICA bajo de (0.33), en cuanto a los índices de contaminación para ICOMI e ICOSUS arrojan una contaminación baja, en cuanto a ICOMO evidencia valores altos para cargas orgánicas y el ICOTRO evidencia aguas con hiperutrofia. finalmente, Los resultados obtenidos sobre la variación de la calidad de agua, serán el insumo para la formular un plan de educación ambiental en las comunidades aledañas a las riveras del Guachicos teniendo en cuenta la importancia de sus afluentes.

**Palabras Claves:** Índices de calidad de agua, índices de contaminación en agua, fuente hídrica, micro cuenca, toma de muestras.

## Abstract

In this research project, the variation of the water quality of the main tributaries of the Guachicos river basin and its tributary streams was determined: Cedro, Roble, Caney, Aguas Negras and Maralla, which supply the aqueduct of the urban area. of the municipality of Pitalito Huila, by calculating the ICA Water Quality Index and the ICOs contamination indices, using physicochemical and microbiological methods: pH, dissolved oxygen, conductivity and Temperature Hardness, Alkalinity, Phosphorus, and Nitrites, Turbidity, true color , Total Suspended Solids, BOD, COD Total Coliforms and Escherichia Coli, Therefore, four (4) samplings were carried out: April, July and September 2018 and February 2019. According to the results for the ICA values, they are presented waters with low contamination for the sources: Roble, Aguas Negras, Caney, Rio Guachicos and El Cedro with values between (0.50 - 0.54), the Maralla source presents a mean co ntaminacion with a low ICA value of (0.33), as for the contamination indices for ICOMI and ICOSUS they show low contamination, as for ICOMO it shows high values for organic loads and the ICOTRO shows waters with hyperutrofia. Finally, the results obtained on the variation of the water quality will be the input for the formulation of an environmental education plan in the communities surrounding the banks of the Guachicos, taking into account the importance of its tributaries.

Keywords: Water quality indices, water pollution indices, water source, micro basin, sampling.

## Contenido

Introducción .....	1
Justificación .....	3
Problema de Investigación .....	4
Objetivos .....	5
Objetivo general .....	5
Objetivos específicos .....	5
Marco de referencia .....	6
Marco conceptual y teórico .....	6
Metodología .....	12
Área de estudio .....	12
Muestreo para análisis fisicoquímicos y microbiológicos .....	14
Cálculo de indicadores e índices .....	16
Índices de contaminación – ICOs .....	17
Índice de contaminación por mineralización – ICOMI .....	17
Índice de contaminación por Materia Orgánica – ICOMO .....	18
Índice de contaminación por Sólidos Suspendidos – ICOSUS .....	19
Índice de contaminación Trófico – ICOTRO .....	19
Resultados .....	21
Visita de reconocimiento de afluentes del río Guachicos .....	21
Quebrada El Cedro .....	21
Quebrada La Maralla .....	22
Quebrada Caney .....	23
Quebrada Aguas negras .....	24

Quebrada el Roble.....	24
Tablas Resultados de los muestreos.....	25
Primer muestreo .....	25
Segundo muestreo.....	26
Tercer muestreo .....	27
Cuarto muestreo .....	28
Cálculo de los índices de calidad de agua.....	29
Cálculo del ICA .....	29
Cálculo de los índices de contaminación ICO´s .....	30
Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).....	30
Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) .....	31
Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) .....	32
Índice de contaminación trófica (ICOTRO) .....	32
Análisis de Resultados.....	34
Conclusiones.....	42
Bibliografía .....	44

## Lista de tablas

Tabla 1 Usos del agua de acuerdo con la contaminación del agua.....	6
Tabla 2 Parametros determinados en el estudio.....	14
Tabla 3. Categorías ICO's.....	16
Tabla 4. Ubicación de los principales afluentes parte del estudio .....	21
Tabla 5. Resultados primer muestreo.....	25
Tabla 6. Resultados 2 muestreo .....	26
Tabla 7. Resultados tercer muestreo .....	27
Tabla 8. Resultados Cuarto Muestreo.....	28
Tabla 9. Calculo ICA Promedio en los principales afluentes .....	30
Tabla 10. Promedio de los índices ICO's .....	33

## Lista de figuras

Figura 1 Localización geográfica puntos de muestreos .....	12
Figura 2 Parte alta del Rio Guachios .....	12
Figura 3 Toma de muestras en campo con test y multiparametrico. Fuente los autores. .	15
Figura 4 Rangos ICO's .....	20
Figura 5 Localización general del punto de muestreo en la quebrada el Cedro, Software libre SAS Planet, servidor Bing Maps vista satelital .....	21
Figura 6 Localización general del punto de muestreo en la quebrada La Maralla, Software libre SAS Planet, servidor Bing Maps vista satelital. Fuente: la Investigación .....	22
Figura 7 Localización general del punto de muestreo en la quebrada El Caney, Software libre SAS Planet, servidor Bing Maps vista satelital. Fuente: la investigación. ....	23
Figura 8 Localización general del punto de muestreo en la quebrada Aguas Negras, Software libre SAS Planet, servidor Bing Maps vista satelital. ....	24
Figura 9 Localización general del punto de muestreo en la quebrada Aguas Negras, Software libre SAS Planet, servidor Bing Maps vista satelital. Fuente los autores. ....	24
Figura 10 Resultados calculo ICOMI principales afluentes. Fuente: Los Autores. ....	31
Figura 11 Resultados calculo ICOMO principales afluentes Fuente: Los Autores .....	31
Figura 12 Resultados del cálculo del índice ICOSUS. Fuente: Los Autores. ....	32
Figura 13 Resultados para el índice ICOTRO. Fuente: Los Autores .....	33
Figura 14 Comparativo valores ICA muestreos. Fuente: los autores .....	34
Figura 15 Análisis de conglomerados ICA para las quebradas estudiadas. ....	35
Figura 16 Comparativo ICA y muestreos. Fuente: los autores .....	35
Figura 17 Resultados del ICOSUS para los muestreos. ....	36
Figura 18 Comparativo ICOSUS .....	37
Figura 19 Resultados ICOMI para los muestreos Fuente: La Investigación .....	37
Figura 20 Comparativo ICOMI .....	38
Figura 21 Comparativo ICOTRO Fuente: los autores .....	39
Figura 22 Rangos comparativos para ICOTRO Fuente: los autores. ....	39
Figura 23 Promedio ICOMO Fuente: los autores .....	40
Figura 24 Comparativo y promedio ICOMO Fuente: los autores .....	41

## Introduccion

El presente proyecto se planteó a partir de la necesidad de contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades, en la línea de investigación en Gestión Ambiental de la ECAPMA, la cual, mediante proyectos de investigación, los resultados obtenidos de éstos y las proyecciones de los estudios, evidencian aportes significativos en términos del desarrollo de competencias en investigación, desarrollo científico e inclusión social.

Se realiza la investigación para la microcuenca del Rio Guachicos y sus tributarias, con el apoyo de los métodos fisicoquímicos y microbiológicos que permiten el cálculo de Índices de Contaminación (ICO's) e Índice de Calidad de Agua (ICA). El desarrollo de índices de contaminación, para valoración de la calidad de las aguas continentales, fue abordado por (Ramírez et al., 1997), a partir de los resultados arrojados por la estadística multivariada de análisis de componentes principales, el cual ha sido usado de manera recurrente en otras latitudes y en Colombia para la caracterización de aguas dulceacuícolas y marinas.

Los índices de contaminación (ICO) constituyen una herramienta poderosa de fácil determinación, que prestan gran utilidad en la caracterización de la calidad de las aguas continentales, tarea que realizan con mayor objetividad y claridad que los tradicionales índices de calidad (ICA) (Ramírez, Restrepo, Viña, 1997).

Por otra parte, de acuerdo con (IDEAM, s.f) el ICA es un número (entre 0 y 1) o (0 – 100) que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua, en términos del bienestar humano independiente de su uso. Este número es una agregación de las condiciones físicas, químicas y en algunos casos microbiológicas del cuerpo de agua, el cual da indicios de los problemas de contaminación.

De acuerdo con lo anterior, y dadas las limitaciones y los problemas relacionados el recurso hídrico junto con la continua degradación de la calidad el agua por parte de las actividades agrícolas o zonas aledañas a las fuentes hídricas , pueden llegar a debilitar las bases

sobre las que se asienta la sociedad humana actual en cuanto a salud o un buen ambiente para habitar.

La calidad de las aguas está ligada al uso que se hace de ellas (Madera, Angulo, Díaz, & Rojano, 2016), razón por la cual es muy importante determinar el estado de la calidad de agua a fin de recopilar información faltante de los afluentes del Río Guachicos perteneciente a la cuenca del río Guarapas, con el propósito de evaluar a mediano y largo plazo el manejo de la fuente abastecedora del acueducto del Municipio de Pitalito mediante la caracterización de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, actividades diarias de la población en la zona de estudio y demás información relevante a la hora de determinar el estado actual de dicha fuente hídrica.

Finalmente es necesario analizar el comportamiento de la calidad de las aguas de los principales afluentes de la parte alta de la cuenca hidrográfica del Río Guachicos, teniendo en cuenta que estos parámetros de la calidad del agua con lleva a poder plantear soluciones que permiten controlar la contaminación en la parte alta de la cuenca, generando efectos positivos económicos que se traducen en disminución de los costos de tratamiento en la Planta de Tratamiento de Agua Potable “Guatipan” para el Municipio de Pitalito.

## **Justificación**

De acuerdo con (Lizcano, 2007), el río Guachicos, nace en la Vereda Porvenir (corregimiento de Bruselas, Municipio de Pitalito – Huila) a lo largo de su recorrido de 45 kms, 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 (POMCH río Guarapas, 2009).

La cuenca del río Guachicos tiene un área de protección en el Parque Natural Municipal con una extensión de 5000 Hectareas y es abastecedora de la zona urbana de Pitalito, 33 veredas del Corregimiento de Bruselas y 7 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 hectáreas de café en unos 2.500 predios (PMD, 2016).

Es importante mencionar que la zona de estudio donde se encuentra la cuenca del río Guachicos, presenta cultivos cuya extensión principal es el café, además de algunos frutales como lulo, grandilla y otros usos en menor proporción para plátano, maíz y ganadería.

De acuerdo con lo anterior, es necesario determinar la calidad del agua del río Guachicos y principales tributarias en la parte alta de la micro cuenca, dado que esta importante fuente hídrica es la abastecedora de la zona urbana de Pitalito y demás acueductos veredales, como también diferentes distritos de riego, calidad que puede presentar degradación por las actividades mencionadas, como también el asentamiento de poblaciones en las zonas ribereñas que generan un impacto directo sobre estas.

Es así, que del conocimiento de la calidad del agua se pueden generar análisis de salud pública en cuanto a los indicadores de enfermedades gastrointestinales, entre otros de gran importancia para la comunidad del municipio tanto urbana como rural, por lo cual el determinar el estado de la calidad de agua, permite proyectar a mediano y largo plazo el manejo de la fuente.

## **Problema de Investigación**

La fuente de abastecimiento para el Municipio de Pitalito es el Río Guachicos, a esta subcuenca pertenecen las microcuencas de las Quebradas Cedro, como afluente principal y una serie de microcuencas menores como afluentes secundarios como Bombona, Palmito, La Guandinosa, La Burrera, La Criolla, La Chorrera y Agua Negra. El Río Guachicos presenta un caudal en condiciones medias de  $1.8\text{m}^3/\text{s}$  nace en el Macizo Colombiano en la parte alta de la Vereda El Porvenir, alrededor de los 2400 msnm, el caudal promedio diario anual captado: en la bocatoma del Río Guachicos en promedio  $0.35\text{m}^3/\text{s}$ , para un total de agua cruda captada promedio anual de  $10.990.000\text{m}^3/\text{año}$  (Pitalito, 2016).

Por otra parte, Pitalito es considerado como el municipio del país con mayor producción de café (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, s.f.), con 11.700 hectáreas sembradas; reconocidos a nivel Internacional por la Calidad y Posicionamiento de los llamados Cafés Especiales que se comercializan en los grandes mercados mundiales (Alcaldía de Pitalito-Huila, 2016). Según el ministerio de Agricultura nacional en Pitalito se cosecha el mejor café especial del mundo. Pitalito se convirtió en el principal productor de café en Colombia y pionero en café especial de alta calidad. También en el sector agrícola se producen productos frutales de clima frío moderado entre los cuales están: la Granadilla, Mora, Lulo y Golupa.

Sin embargo, al ser uno de los mayores productores de café, se presentan problemas de contaminación a las fuentes hídricas, especialmente al Río Guachicos teniendo en cuenta que en la parte alta del Corregimiento de Bruselas se ubican fincas que vierten directamente las aguas residuales producto de actividades domésticas y agrícolas. Así mismo sobre las riveras de las fuentes abastecedoras del acueducto municipal se identifican asentamientos que agudizan la situación, razón por la cual se hace necesario contar con análisis fisicoquímicos y microbiológicos que determinen la calidad de agua de la zona y a partir de esto encaminar acciones con el fin de crear lineamientos de gestión que permitan el mejoramiento de los procesos productivos, involucrando como estrategia principal la educación ambiental en la comunidad asentada sobre dicha cuenca hidrográfica teniendo en cuenta la importancia del recurso hídrico para el desarrollo de la sociedad.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar los índices de calidad de agua y de contaminación en los afluentes del río Guachicos en la zona alta de la subcuenca, en el Municipio de Pitalito Huila.

### **Objetivos específicos**

- Establecer el índice de calidad de agua ICA para cinco (5) afluentes tributarios del río Guachicos en la zona alta de la subcuenca, en Pitalito Huila.
- Estimar los índices de contaminación: ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO para cinco (5) afluentes tributarios del río Guachicos en la zona alta de la subcuenca, en Pitalito Huila.
- Realizar el análisis integrado del estado de los afluentes en la zona alta del río Guachicos basado en los resultados obtenidos de la aplicación de los índices de calidad de agua y contaminación.

## Marco de referencia

### Marco conceptual y teórico

La definición de la calidad de agua está relacionada directamente con su idoneidad para un uso potencial específico, de modo que se cumplan los criterios de eficacia del agua requeridos para determinado destino ya sea consumo humano, vida acuática, riego, recreación, entre otros (Sierra, 2011). Estos criterios de calidad de agua a su vez se establecen como determinadas concentraciones que se demandan en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua.

En ese sentido, se pueden encontrar algunos usos que requieran muy bajas concentraciones en los parámetros y otros usos menos exigentes en términos del estado de la calidad del agua. De acuerdo con Barrenechea (2004) “un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial”. En efecto, las concentraciones de los parámetros medidos en el agua vienen siendo alterados a partir de los cambios en los elementos ambientales que se dan de forma natural o antrópica y traen como consecuencias impactos negativos sobre los cuerpos de agua, ya sea a partir del aumento de la demanda del recurso hídrico, reducción de caudales, vertimientos, etc. En la tabla 1 se relaciona los usos del agua de acuerdo con la contaminación que esta pueda presentar.

Tabla 1 Usos del agua de acuerdo con la contaminación del agua.

Contaminante	Agua potable	Vida acuática	Recreación	Riego	Uso industrial	Energía y Enfriamiento	Trasporte
P	XX	0	XX	X	XX <sup>1</sup>	NA	NA
S	XX	XX	XX	X	X	X <sup>2</sup>	XX <sup>3</sup>
M	XX	X	XX	+	XX <sup>4</sup>	X	NA
A	X	X	XX	+	XX <sup>4</sup>	X	X
N	XX	X	NA	+	XX <sup>1</sup>	NA	NA

<b>Contaminante</b>	<b>Agua potable</b>	<b>Vida acuática</b>	<b>Recreación</b>	<b>Riego</b>	<b>Uso industrial</b>	<b>Energía y Enfriamiento</b>	<b>Trasporte</b>
<b>S</b>	X	X	N		XX <sup>6</sup>	N	NA
<b>M</b>	X	X	X			N	NA
<b>A</b>	X	X	X		X	X	NA

**XX** Uso altamente afectado

**X** Uso levemente afectado

**0** Sin afectación

**NA** no aplica

**+** Benéfico para el uso del agua

**¿** Efectos no entendidos

---

Fuente: (Sierra, 2011)

Con relación a los parámetros a medir directamente en el recurso hídrico se cita las consideraciones en cada caso y de acuerdo Barrenechea (2004).

Sólidos suspendidos. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio (Martel, 2004).

Temperatura. Influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (Martel, 2004).

pH. Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua (Martel, 2004).

Alcalinidad. Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Sin embargo, aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad.

**Dureza.** Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio (Martel, 2004).

**Color.** Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etcétera (Martel, 2004).

**Fenoles.** Su presencia en el agua está relacionada con la descomposición de hojas y materia orgánica, ácidos húmicos y fúlvicos, pero principalmente se los asocia a procesos de contaminación de las fuentes por desechos industriales, aguas servidas, fungicidas y pesticidas, hidrólisis y oxidación de pesticidas organofosforados, degradación bacteriológica de herbicidas del ácido fenoxialquílico, entre otros (Martel, 2004).

**Fosfatos.** Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son los ortofosfatos, los fosfatos condensados (piro-, meta- y polifosfatos) y los fosfatos orgánicos. Estos fosfatos pueden estar solubles como partículas de detritus o en los cuerpos de los organismos acuáticos (Martel, 2004).

**Nitritos.** El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se lo encuentra formando amoniacado, nitratos y nitritos (Martel, 2004).

**Oxígeno disuelto.** Su presencia es esencial en el agua; proviene principalmente del aire. Niveles bajos o ausencia de oxígeno en el agua. Puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).** Corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia. Se expresa en mg/L. Esta demanda es ejercida por las sustancias carbonadas, las nitrogenadas y ciertos compuestos químicos reductores.

Demanda química de oxígeno (DQO). Equivale a la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en un agua sin la intervención de los organismos vivos.

Las descripciones de los siguientes parámetros microbiológicos son tomadas de Aurazo (2004).

*Escherichia coli*. Es una bacteria que habita en forma normal en el intestino de los mamíferos. Algunas cepas no son patógenas y otras causan enfermedades gastrointestinales a través de una variedad de mecanismos (Aurazo, 2004).

Coliformes totales. Son bacterias que habitan en el intestino de los mamíferos y también se presentan como saprofitos en el ambiente, excepto la *Escherichia*, que tiene origen intestinal. Los coliformes tienen todas las características requeridas para ser un buen indicador de contaminación (Aurazo, 2004)..

De acuerdo con la definición de los criterios de calidad del agua, se hace necesario efectuar la evaluación de la calidad del agua a partir de técnicas analíticas pertinentes para cada parámetro requerido con el propósito de obtener resultados representativos, en este sentido deben adoptarse procedimientos de muestreo, transporte y análisis adecuados. De igual forma la interpretación de los resultados obtenidos mediante la correlación de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua. Para efectos de la interpretación es propicio el uso de los índices de calidad de agua (en adelante ICA) y los índices de contaminación (en adelante ICO), a continuación, se despliega la definición de estos.

Los índices de calidad de agua han sido utilizados para expresar las características de una fuente de agua mediante una valoración numérica que define el grado de calidad. En ese sentido, es posible reconocer de forma simplificada la existencia de un problema de contaminación y además realizar la comparación con otras fuentes. Sin embargo, también es propicio para establecer la variabilidad de la calidad de agua en una sola fuente de forma periódica (Ramírez, 1997). Por otro lado, la valoración que se estima mediante la aplicación del índice de calidad de agua se basa en las variables físicas, químicas y microbiológicas que caracterizan la fuente de agua, por lo cual se hace necesario estimar estas variables mediante la medición directa. El concepto de índice de calidad de agua definido por el IDEAM (s.f.) establece:

El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo  $j$  en el tiempo  $t$ .

Debido a que los ICA permite la simplificación de la lectura de la calidad del agua, en ocasiones es posible establecer algunas relaciones con factores que pueden resultar causantes de su variabilidad, es decir que la información que se ha obtenido a partir de definir las variables que caracterizan la fuente de agua pueden ser utilizadas para hallar el valor de otros índices de contaminación más específicos como los relacionados con la mineralización, la materia orgánica, los sólidos suspendidos, fósforo, temperatura, pH, entre otros.

A continuación, se cita la definición de los índices de contaminación de referencia que se adoptan en el presente proyecto de acuerdo con Ramírez (1997) contenido en el documento titulado: Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación.

- Índice de contaminación por mineralización (ICOMI): se expresa en numerosas variables, como: 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.

- Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO): al igual que en la mineralización, se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionaron demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como lo demuestra la ausencia de correlaciones entre ellas.

- Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS): se determina tan sólo 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.

- Índice de contaminación trófico (ICOTRO): se determina en esencia por la concentración del fósforo total.



Según (Lizcano, 2017), la Cuenca del río Guachicos, nace en la Vereda Porvenir del corregimiento de Bruselas, en su recorrido de 45 km, hasta la desembocadura en el río Guarapas, recibe el caudal de 172 afluentes. Ubicación. Está ubicada en el Parque Natural Municipal que lo conforman las Veredas: Porvenir, Kennedy, Palmito, La Esperanza, Pensil, Montecristo y el Cedro, donde se han comprado más de 5.000 hectáreas de bosques, que sirven de protección y conservación de esta fuente hídrica.

Surte de agua los acueductos de la zona Urbana de Pitalito, 33 veredas del Corregimiento de Bruselas, 7 del Corregimiento de Criollo, como también los minidistritos de riego: San Francisco y Cabeceras, Holanda, El Limón. - En esta subcuenca, se encuentran la principal fuente de recursos económicos de Pitalito representadas en más de 4.500 hectáreas de café en unos 2.500 predios (Pitalito, 2016).

Se define para la investigación realizar el muestreo en los principales afluentes que tributan al río Guachicos tales como: Q. El Cedro, Q. La Muralla, Q. Canei, Q. El Roble y Q. Aguas Negras. La toma de muestras se realizará en el periodo comprendido entre febrero de 2018 hasta febrero de 2019, con un total de cuatro (4) muestreos.

La zona de investigación 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 (CRC, Sf.). A nivel general, la zona se caracteriza por poseer una topografía ondulada a muy fuerte y pendientes que varían entre leves y moderadas en las partes bajas y fuertes en los sectores más altos del municipio, en donde se presentan y desarrollan actividades productivas agropecuarias .

Las fuentes hídricas superficiales transitan por el sector y sobre ellas se presentan los bosques de galería de tipo protector, en su mayoría cubiertos por la especie de carácter boscoso, además de algunas reservas privadas mantenidas para conservación de ofertas ambientales, lo que vienen favoreciendo a la parte de arborización esto principalmente en lo referente al amarre de los suelos y la protección de innumerables ondulaciones y drenajes naturales por donde cursan

fuentes hídricas, que en el sector se están viendo disminuidas por la ampliación de la frontera agrícola.

### **Muestreo para análisis fisicoquímicos y microbiológicos**

Para el desarrollo del proyecto se tomaron las muestras de acuerdo con lo considerado en la guía para la toma y preservación de muestras TI0207 (IDEAM, 2010).

Tabla 2 Parametros 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 (ppm) de carbonato de calcio es determinado por una titulación de EDTA.
Alcalinidad	Campo	HI 3811 Test Kit de HANNA Alcalinidad.
Fosforo	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	FOTOMETRICO
Color Aparente (U.P.C)	Laboratorio EMPITALITO	FOTOMETRICO
Turbiedad (U.N.T)	Laboratorio EMPITALITO	NEFELOMETRICO
DBO	Laboratorio EMPITALITO	Espectrometría
DQO	Laboratorio EMPITALITO	Espectrometría
Coliformes totales	Laboratorio EMPITALITO	F*M

Escherichia Coli	Laboratorio EMPITALITO	F*M
------------------	---------------------------	-----

Fuente: la investigación

Para los parámetros: Turbiedad, color verdadero, Solidos Suspendidos Totales Código TP 0088 (IDEAM, 2007), DBO de acuerdo con la TP0087 (IDEAM, Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días, 2007) DQO por kit, Coliformes totales, Escherichia Coli TP0423 (IDEAM, COLIFORMES TOTALES Y E. COLI POR EL METODO NMP, 2007), las muestras se rotularon y fueron llevadas al laboratorio de las empresas de servicios publico domiciliarios (EMPITALITO) y AMBILAB para su análisis y reporte de resultados.



Figura 3 Toma de muestras en campo con test y multiparametrico. Fuente los autores.

## Cálculo de indicadores e índices

El cálculo del ICA se hizo de acuerdo al documento Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA), elaborado por el IDEAM (IDEAM, s.f.).

El indicador se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco o seis variables que determinan, en gran parte, la calidad de las aguas corrientes superficiales. La fórmula de cálculo del indicador es:

$$ICA_{njt} = \left( \sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right) \text{ Ecuacion No. 1}$$

Donde:

$n_{jt}$  ICA Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua  $j$  en el tiempo  $t$ , evaluado con base en  $n$  variables.

$W_i$  Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad  $i$ .

$I_{ikjt}$  Es el valor calculado de la variable  $i$  (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo  $j$ , registrado durante la medición realizada en el trimestre  $k$ , del período de tiempo  $t$ .

$n$  Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador;  $n$  es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Se recomienda que la tabla de datos del indicador incluya el valor mínimo del ICA registrado en el periodo de tiempo  $t$  y además, el ICA promedio de ese periodo, que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ICA \text{ promedio}_{njt} = \frac{\sum_{k=1}^m (\sum_{k=1}^m W_t \cdot I_{ikjt})}{m} \text{ Ecuacion No. 2}$$

Donde:  $m$  Es el número de muestreos en los cuales se midieron las variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador.  $1 \leq m \leq 4$  si el periodo es anual.

En la siguiente tabla se estipula la Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA

Tabla 3. Categorías ICA

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	
0,26 – 0,50	Mala	
0,51 – 0,70	Regular	
0,71 – 0,90	Aceptable	
0,91 – 1,00	Buena	

Fuente: (Ramírez, Restrepo, Viña, 1997)

### Índices de contaminación – ICOs

A continuación, se muestra los cuatro índices de contaminación aplicados para establecer el tipo de contaminación en las principales corrientes del área de jurisdicción de la CDMB:

#### 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 en cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos.

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

Para el calculo del ICOMI se emplea el paso a paso de la siguiente formula;

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

\*  $I_{CONDUCT}$ : se obtienen a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Log}_{10} I_{Conduct} = -3,26 + 1,34 \text{Log}_{10} \cdot \text{conductividad} (\mu\text{S}/\text{cm})$$

$$I_{Conduct} = 10^{\text{Log } I_{Conduct}}$$

conductividades mayores a 270  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tienen un indice de conductividad = 1

\*  $I_{Dureza}$  : se obtienen a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Log}_{10} I_{Dureza} = -9,09 + 4,40 \text{Log}_{10} \cdot \text{conductividad} (\mu\text{S}/\text{cm})$$

$$I_{Dureza} = 10^{\text{Log } I_{Dureza}}$$

*durezas mayores a  $110 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  tienen  $I_{Dureza} = 1$*

*durezas menores a  $30 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  tienen  $I_{Dureza} = 0$*

\*  $I_{ALCALINIDAD}$  : se obtienen a partir de la siguiente expresión

$$I_{Alcal} = -0,25 + 0,005 \text{ alcalinidad} (\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$$

*alcalinidades mayores a  $250 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  tienen  $I_{Alcal} = 1$*

*alcalinidades mayores a  $50 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  tienen  $I_{Alcal} = 0$*

Así por ejemplo, a una muestra de agua con conductividad  $150 \text{mS}/\text{cm}$ , dureza  $160 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  y alcalinidad  $30 \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , tiene los siguientes índices

$$I_{Conductividad} = 0,45$$

$$I_{Dureza} = 1$$

$$I_{Alcalinidad} = 0$$

$$\mathbf{ICOMI} = 1/3(0,45 + 1 + 0) = 0,488$$

### **Índice de contaminación por Materia Orgánica – ICOMO**

Al igual que en la mineralización se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionaron Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Coliformes Totales y porcentaje de Saturación de Oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, el ICOMO, al igual que el ICOMI es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables elegidas.

A continuación se realiza la fórmula y el procedimiento para el cálculo de indicador:

$$ICOMO = 1/3 (I_{DBO} + I_{Coliformes\ totales} + I_{Oxigeno\ \%})$$

\*  $I_{DBO}$ : se obtienen a partir de la siguiente expresión:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \text{Log}_{10} \cdot DBO (\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$$

*DBO mayores a  $30 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , tienen  $I_{DBO} = 1$*

*DBO menores a  $2 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , tienen  $I_{DBO} = 0$*

\*  $I_{COL. TOT}$  : se obtienen a partir de la siguiente expresión:

$$I_{COL. TOT} = -1,44 + 0,56 \text{Log}_{10} \cdot Col. tot. (NMP. 100^{-3})$$

*coliformes totales mayores a 20000NMP. 100cm<sup>-3</sup> tienen  $I_{COL. TOT} = 1$*   
*coliformes totales menores a 500NMP. 100cm<sup>-3</sup> tienen  $I_{COL. TOT} = 0$*

\*  $I_{OXIGENO \%}$  : se obtienen a partir de la siguiente expresión

$$* I_{OXIGENO \%} = 1 - 0,01 \text{ oxígeno \%}$$

*Oxigenos (%) mayores a 100% tienen  $I_{oxígeno} = 0$*

Es importante señalar, que de manera general en los sistemas loticos porcentajes de saturación mayores 100% son ventajosos o indicativos de una buena capacidad de reaeración de los cursos hidricos. Para sistema lenticos pueden reflejar grafes problemas de eutrofización, por lo que seria aconsejable realizar determinaciones tanto en el dia como en la noche. Para cienagas eutrofizadas con porcentajes de saturación de oxígeno mayores a 100% se sugiere emplear la siguiente expresión:

$$I_{oxígeno \%} = 0,01 \text{ oxígeno \%} - 1$$

### **Índice de contaminación por Sólidos Suspendidos – ICOSUS**

Se determina tan solo mediante la concentración de sólidos suspendidos, los cuales están ligados solo a compuestos inorgánicos mediante la siguiente formula:

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 \text{ solidos suspendidos (g.m}^{-3}\text{)}$$

*solidos suspendidos mayores a 340 g.m<sup>-3</sup> tienen  $ICOSUS = 1$*   
*solidos suspendidos menores a 10 g.m<sup>-3</sup> tienen  $ICOSUS = 0$*

### **Índice de contaminación Trófico – ICOTRO**

Se determina en esencia por 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, como se describe a continuación:

Oligotrófico	<0,01	(g.m <sup>-3</sup> )
Mesotrofico	0,01 – 0,02	(g.m <sup>-3</sup> )

Eutrófico	0,02 – 1	(g.m <sup>-3</sup> )
Hipereutrófico	>1	(g.m <sup>-3</sup> )

En cuanto a los rangos establecidos para los mismos se tiene:

ICO	Grado de Contaminación	Escala de Color
0 - 0,2	Ninguna	Azul
> 0,2 - 0,4	Baja	Verde
> 0,4 - 0,6	Media	Amarillo
> 0,6 - 0,8	Alta	Naranja
> 0,8 - 1	Muy Alta	Rojo

Figura 4 Rangos ICO's

Fuente: (Ramírez, Restrepo, Viña, 1997)

## Resultados

### Visita de reconocimiento de afluentes del río Guachicos

Se presenta a continuación la ubicación de cada uno de los puntos de muestreo para el desarrollo de la investigación, parámetros en campo y determinación de índices.

Tabla 4. Ubicación de los principales afluentes parte del estudio

No.	Fuente Hídrica – Punto de muestreo	Zona	Vereda Ubicación	Latitud (N)	Longitud (W)
1	El Roble	Baja	Vereda Bombonal, 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	Centro poblado de Bruselas	1°46'52.3''	76°09'48.5''
6	Río Guachicos	Alta	Vereda El Porvenir	1°44'01.0''	76°13'57.6''
7	Río Guachicos	Media	Vereda El Bombonal	1°45'57.3''	76°12'18.9''
8	Río Guachicos	Baja	Bocatoma	1°52'09.7''	76°08'30.2''

Fuente: la investigación

De igual forma se describen a continuación cada uno de los afluentes objeto de la investigación:

### Quebrada El Cedro

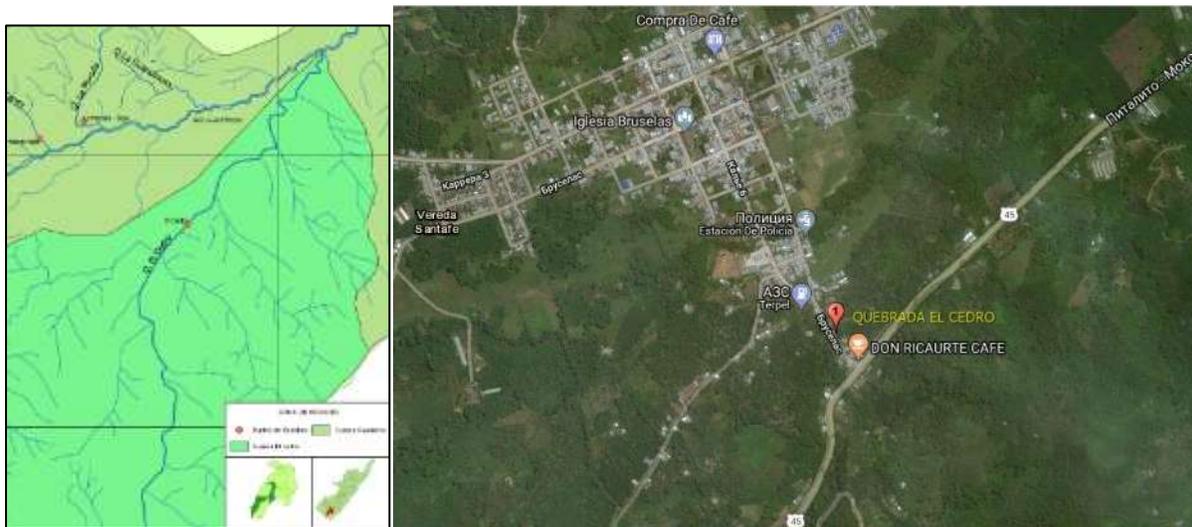


Figura 5 Localización general del punto de muestreo en la quebrada el Cedro, Software libre SAS Planet, servidor Bing Maps vista satelital

Fuente: la investigación

Se ubica sobre el centro poblado del corregimiento de Bruselas, atravesando de forma perpendicular la vía de acceso al corregimiento desde la vía principal que conecta al municipio de Pitalito con el departamento del Putumayo, frente a la cual la quebrada el cedro es paralelo. La distancia desde la vía principal que conecta los dos departamentos es de 500 m. En este sentido sobre la quebrada se encuentra un puente habilitado para el paso de vehículos. A orillas de la vía de acceso al casco urbano del corregimiento se encuentran casas de habitación en uso y establecimientos comerciales.

Se considera posible punto de muestreo el tramo del afluente El Cedro, justo debajo del puente por facilidad de acceso, la cercanía al centro poblado, a la vía interdepartamental. Se evidencia un caudal constante en el cuerpo de agua, con un ancho de 4 a 5 metros, profundidad menor a 1 metro, agua de buen aspecto.

Se observa vegetación a ambos lados de la corriente, se presentan malos olores y residuos sólidos de plásticos desechables que han sido arrojados sobre la corriente posiblemente por transeúntes de la vía ubicada sobre la fuente.

### Quebrada La Maralla



Figura 6 Localización general del punto de muestreo en la quebrada La Maralla, Software libre SAS Planet, servidor Bing Maps vista satelital. Fuente: la Investigación

Está ubicada sobre la vereda la Hacienda del corregimiento de Bruselas, rodeada de cultivos de café de distintos propietarios, atraviesa la vía de acceso veredal o vía terciaria. Cuenta con un ancho de 1 m, y una profundidad menor a 1 m. Agua de aspecto color amarillento, pero no turbio, no presenta olores. Se observa abandono de residuos de pañales desechables sobre la quebrada.

Aunque el afluente generalmente cuenta con un cuerpo angosto, se considera importante debido a que se extiende a lo largo de varias fincas cafeteras tradicionales antes de desembocar en el río Guachicos. En este sentido, sus aguas podrían llevar consigo contaminantes derivados del procesamiento del cultivo de café.

### Quebrada Caney



Figura 7 Localización general del punto de muestreo en la quebrada El Caney, Software libre SAS Planet, servidor Bing Maps vista satelital. Fuente: la investigación.

La quebrada está ubicada en la vereda La Hacienda en el sector del Bombonal, del corregimiento de Bruselas, a una distancia aproximada de 2 km de la quebrada La Maralla en sentido sur. El cuerpo de agua tiene aproximadamente 2 metros de ancho y una profundidad menor a un metro. La corriente se encuentra camuflada entre la vegetación aledaña, la cual dificulta el acceso a la fuente. El agua no evidencia color, ni olor, sin embargo, por encontrarse atravesando varias fincas cafeteras se considera de importancia para el desarrollo del proyecto.

## Quebrada Aguas negras



Figura 8 Localización general del punto de muestreo en la quebrada Aguas Negras, Software libre SAS Planet, servidor Bing Maps vista satelital.

Se encuentra localizada en la vereda Bombonal del corregimiento de Bruselas, se caracteriza por atravesar la vía veredal hacia el norte, pasando por encima de la calzada, con un ancho de 6 metros y una profundidad menor a un metro, aporta un caudal significativo al río Guachicos. El agua no tiene coloración, turbidez, ni olor perceptible a simple vista. Cuenta con un puente peatonal improvisado en guadua. Este tramo de la quebrada se ubica en la parte más baja y seguidamente se puede observar su desembocadura en el río Guachicos.

## Quebrada el Roble



Figura 9 Localización general del punto de muestreo en la quebrada Aguas Negras, Software libre SAS Planet, servidor Bing Maps vista satelital. Fuente los autores.

Está ubicada en la vereda el Bombonal del corregimiento de Bruselas, su parte más baja se encuentra a orillas de la carretera veredal junto a una vivienda y un cultivo de café, puede observarse vertimientos de aguas residuales de uso domésticos caer directamente a la quebrada sin ningún tratamiento. Posee un ancho de 2 m y una profundidad menor a 1 m. Sus aguas no evidencias color, ni turbiedad, sin embargo, puede apreciarse olores nauseabundos. En sus alrededores se encuentra una concentración de viviendas abundante a comparación de la zona rural más alta.

### **Tablas Resultados de los muestreos**

A continuación, se describen los resultados obtenidos en la toma de muestras sobre las fuentes hídricas objeto del estudio, de acuerdo con cada uno de los muestreos realizados.

#### **Primer muestreo**

El primer muestreo fue realizado para los cinco puntos de estudio el 13 de abril del 2018

Tabla 5. Resultados Primer muestreo

	<b>EL ROBLE</b>	<b>AGUAS NEGRAS</b>	<b>CANEY</b>	<b>LA MARALLA</b>	<b>EL CEDRO</b>
<b>pH</b>	4,52	6,71	6,80	6,60	6,75
<b>%OD</b>	87,60	88,40	78,80	82,20	87,20
<b>OD mg/L</b>	6,98	7,02	6,46	6,44	6,85
<b>Conductividad uS/cm</b>	75,00	80,67	76,06	102,33	62,67
<b>SST</b>	48,30	51,95	48,98	65,90	40,36
<b>uS/cmA</b>	64,00	70,00	66,33	91,00	41,00
<b>°C</b>	17,30	17,85	18,18	19,11	19,09
<b>DUREZA ml</b>	0,15	0,10	0,11	0,11	0,06
<b>ALCALINIDAD ml</b>	0,10	0,15	0,2	0,15	0,10
<b>FOSFORO mg/l</b>	3,00	0,00	0	0,00	0,00
<b>NITRITOS mg/l</b>	0,00	0,00	0	0,00	0,00
<b>NITRATOS</b>					
<b>FENOLES</b>					
<b>COLOR APARENTE UPC</b>	10,70	16,00	24,00	60,40	33,00
<b>TURBIEDAD UNT</b>	4,97	5,61	6,08	12,9	18,7

	<b>EL ROBLE</b>	<b>AGUAS NEGRAS</b>	<b>CANEY</b>	<b>LA MARALLA</b>	<b>EL CEDRO</b>
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	72	76,7	72,6	99,2	64,1
<b>DQO mg O/L</b>	6,5	9	8,6	11	11,5
<b>DBO5</b>	2,48	4,71	2,51	4,8	5,46

Fuente: Elaboración propia.

### **Segundo muestreo.**

El segundo muestreo fue realizado para los cinco puntos de estudio el 12 de julio del 2018.

Tabla 6. Resultados 2 muestreo

	<b>EL ROBLE</b>	<b>AGUAS NEGRAS</b>	<b>CANEY</b>	<b>LA MARALLA</b>	<b>EL CEDRO</b>
<b>pH</b>	6,28	6,62	6,41	6,64	6,67
<b>%OD</b>	35,10	36,07	34,50	35,07	38,13
<b>OD mg/L</b>	2,83	2,88	2,77	2,77	3,05
<b>Conductividad uS/cm</b>	69,33	70,00	70,33	111,00	58,00
<b>SST</b>	44,37	44,80	45,01	71,04	37,12
<b>uS/cmA</b>	59,00	60,00	60,67	97,00	50,00
<b>°C</b>	16,85	17,44	17,60	18,41	17,89
<b>DUREZA ml</b>	0,09	0,56	0,04	0,11	0,06
<b>ALCALINIDAD ml</b>	0,24	0,15	0,18	0,23	0,15
<b>FOSFORO mg/l</b>	2,00	1,00	0,00	0,00	1,00
<b>NITRITOS mg/l</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>NITRATOS</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>FENOLES</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>COLOR APARENTE UPC</b>	0,00	11,30	18,00	66,00	14,70
<b>TURBIEDAD UNT</b>	6,08	6,08	8,9	5,69	8,59
<b>DQO mg O/L</b>	4,90	4,9	7,9	16,7	5,5
<b>DBO5</b>	2,58	2,76	3,45	2,22	2,56

Fuente: Elaboración propia

### Tercer muestreo

El tercer muestreo fue realizado para los cinco puntos de estudio el 26 de septiembre del 2018.

Tabla 7. Resultados tercer muestreo

	<b>EL ROBLE</b>	<b>AGUAS NEGRAS</b>	<b>CANEY</b>	<b>LA MARALLA</b>	<b>EL CEDRO</b>
<b>pH</b>	6,53	6,92	7,01	7,03	7,28
<b>%OD</b>	95,40	96,53	91,27	84,70	104,03
<b>OD mg/L</b>	7,61	7,72	7,30	6,70	8,45
<b>Conductividad uS/cm</b>	76,00	84,33	85,33	145,67	65,00
<b>SST</b>	48,64	53,97	54,61	93,23	41,60
<b>uS/cmA</b>	65,00	72,00	73,00	127,00	56,00
<b>°C</b>	17,28	17,40	17,53	18,24	17,17
<b>DUREZA ml</b>	0,10	0,10	0,06	0,10	0,08
<b>ALCALINIDAD ml</b>	0,45	0,10	0,10	0,01	0,01
<b>FOSFORO mg/l</b>	5,00	1,00	0,00	1,00	3,00
<b>NITRITOS mg/l</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>NITRATOS</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>FENOLES</b>	0,10	0,13	0,10	0,00	0,10
<b>COLOR APARENTE UPC</b>	8,90	7,60	19,60	91,00	10,50
<b>TURBIEDAD UNT</b>	1,98	2,04	4,44	7,93	2,75
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	70,3	77,2	78,2	138,7	61.8
<b>DQO mg O/L</b>	<3	<3	17,2	>100	4,5
<b>DBO5</b>	7,18	4,62	22,28	20,3	3,24
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	5333	5799	19998	34800	9666
<b>ESCHERICHIA COLI</b>	2400	1600	4200	9400	3560

Fuente: Elaboración propia

### Cuarto muestreo

El cuarto muestreo fue realizado para los cinco puntos de estudio el 19 de febrero del 2019.

Tabla 8. Resultados Cuarto Muestreo

	<b>EL ROBLE</b>	<b>AGUAS NEGRAS</b>	<b>CANEY</b>	<b>LA MARALLA</b>	<b>EL CEDRO</b>
<b>pH</b>	7,6	8,4	7,5	7,4	7,8
<b>%OD</b>	72,6	73,67	68,2	67,32	76,46
<b>OD mg/L</b>	6,88	7,1	6,13	6,19	6,57
<b>Conductividad uS/cm</b>	73,44	78,33	77,24	119,67	61,89
<b>SST</b>	47,0016	50,1312	49,4336	76,5888	39,6096
<b>uS/cmA</b>					
<b>°C</b>	17,8	18,1	19,7	20,03	20,06
<b>DUREZA ml</b>	0,09	0,1	0,07	0,15	0,1
<b>ALCALINIDAD ml</b>	0,14	0,16	0,12	0,2	0,15
<b>FOSFORO mg/l</b>	5	1	1	5	1
<b>NITRITOS mg/l</b>	0	0	0	0	0
<b>NITRATOS</b>					
<b>FENOLES</b>	0	0,1	0	0	0
<b>COLOR APARENTE UPC</b>	10,9	8,4	20,7	43,8	11,9
<b>TURBIEDAD UNT</b>	2,51	2,72	4,62	42,2	4,97
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	84,5	90,2	87,3	125,5	69
<b>DQO mg O/L</b>	2,5	2,6	5,8	10,5	2,4
<b>DBO5</b>	39,6	42,54	42,84	44,37	26,07
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	5200	5100	5800	8100	6250
<b>ESCHERICHIA COLI</b>	3140	1660	960	1500	3860

Fuente: Elaboración propia

## **Cálculo de los índices de calidad de agua**

De acuerdo con la definición de los criterios de calidad del agua, se hace necesario efectuar la evaluación de la calidad del agua a partir de técnicas analíticas pertinentes para cada parámetro requerido con el propósito de obtener resultados representativos, en este sentido deben adoptarse procedimientos de muestreo, transporte y análisis adecuados. De igual forma la interpretación de los resultados obtenidos mediante la correlación de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua. Para efectos de la interpretación es propicio el uso de los índices de calidad de agua (en adelante ICA) y los índices de contaminación (en adelante ICO), a continuación se despliega la definición de los mismos.

Los índices de calidad de agua han sido utilizados para expresar las características de una fuente de agua mediante una valoración numérica que define el grado de calidad. En ese sentido, es posible reconocer de forma simplificada la existencia de un problema de contaminación y además realizar la comparación con otras fuentes. Sin embargo, también es propicio para establecer la variabilidad de la calidad de agua en una sola fuente de forma periódica (Ramírez, 1997).

### **Cálculo del ICA**

La valoración que se estima mediante la aplicación del índice de calidad de agua se basa en las variables físicas, químicas y microbiológicas que caracterizan la fuente de agua, por lo cual se hace necesario estimar estas variables mediante la medición directa. El concepto de índice de calidad de agua definido por el IDEAM (s.f.) establece:

El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo en el tiempo.

Debido a que los ICA permite la simplificación de la lectura de la calidad del agua, en ocasiones es posible establecer algunas relaciones con factores que pueden resultar causantes de

su variabilidad, es decir que la información que se ha obtenido a partir de definir las variables que caracterizan la fuente de agua pueden ser utilizadas para hallar el valor de otros índices de contaminación más específicos como los relacionados con la mineralización, la materia orgánica, los sólidos suspendidos, fósforo, temperatura, pH, entre otros.

Los resultados de la aplicación de la metodología de cálculo propuesta por el IDEAM para el ICA dada dentro de la metodología, se presentan a continuación,

Tabla 9. Calculo ICA Promedio en los principales afluentes

	1 muestreo		2 muestreo		3 muestreo		4 muestreo	
	ICA Promedio	Calificacion ICA						
Quebrada el Roble	0,46	Mala	0,51	Regular	0,52	Regular	0,51	Regular
Quebrada Aguas Negras	0,45	Mala	0,51	Regular	0,52	Regular	0,51	Regular
Quebrada El Caney	0,53	Regular	0,53	Regular	0,53	Regular	0,53	Regular
Quebrada La Maralla	0,33	Mala	0,40	Mala	0,30	Mala	0,30	Mala
Quebrada El Cedro	0,56	Regular	0,52	Regular	0,58	Regular	0,51	Regular

Fuente: Los Autores

## Cálculo de los índices de contaminación ICO's

### Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

A continuación, se presenta el cálculo del ICOMI en los principales afluentes del río Guachicos obtenido bajo la aplicación de las fórmulas dadas en la metodología. Teniendo en cuenta la información para el cálculo del índice se determinaron los valores para cada uno de los cuatro muestreos obteniendo los siguientes resultados:

Primer Muestreo ICOMI			Segundo Muestreo ICOMI		
Aguas Negras	0,251420366	BAJA	Aguas Negras	0,240041306	BAJA
El Roble	0,244930874	BAJA	El Roble	0,239785504	BAJA
Caney	0,246701443	BAJA	Caney	0,240557821	BAJA
Maralla	0,276105209	BAJA	Maralla	0,2869098	BAJA
El Cedro	0,232172804	BAJA	El Cedro	0,2279319	BAJA

Tercer Muestreo ICOMI			Cuarto Muestreo ICOMI		
Aguas Negras	0,255079298	BAJA	Aguas Negras	0,248941083	BAJA
El Roble	0,247397453	BAJA	El Roble	0,243586792	BAJA
Caney	0,256190251	BAJA	Caney	0,247498362	BAJA
Maralla	0,3283184	BAJA	Maralla	0,2974715	BAJA
El Cedro	0,2324049	BAJA	El Cedro	0,2317721	BAJA

Figura 10 Resultados calculo ICOMI principales afluentes. Fuente: Los Autores

### Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

A continuación, se presenta el cálculo del ICOMO en los principales afluentes del río Guachicos, los resultados de este indicador se calcularon con las metodologías establecidas anteriormente.

Teniendo en cuenta la información para el cálculo del índice se determinaron los valores para cada una de las fuentes en los dos últimos muestreos obteniendo los siguientes resultados, es de aclarar que el ICOMO de acuerdo con la capacidad del laboratorio para analisis de muestras solamente se calculo para los dos (2) últimos muestreos:

Tercer Muestreo ICOMO			Cuarto Muestreo ICOMO		
Aguas Negras	0,372464597	BAJA	Aguas Negras	0,663232513	ALTA
El Roble	0,414130399	MEDIA	El Roble	0,661116168	ALTA
Caney	0,649808813	ALTA	Caney	0,692604767	ALTA
Maralla	0,707177201	ALTA	Maralla	0,726171404	ALTA
El Cedro	0,352928792	MEDIA	El Cedro	0,620797177	ALTA

Figura 11 Resultados calculo ICOMO principales afluentes Fuente: Los Autores

### Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

A continuación, se presenta el cálculo del ICOSUS en los principales afluentes del río Guachicos. Teniendo en cuenta la ecuación de cálculo del indicador ICOSUS definida previamente en la metodología se calcularon los indicadores correspondientes para los 5 efluentes en los 5 muestreos, de donde se obtiene:

Primer Muestra ICOSUS			Segundo Muestra ICOSUS		
Aguas Negras	0,135848	MUY BAJA	Aguas Negras	0,1144	MUY BAJA
El Roble	0,1249	MUY BAJA	El Roble	0,11312	MUY BAJA
Caney	0,126939333	MUY BAJA	Caney	0,11504	MUY BAJA
Maralla	0,177708	MUY BAJA	Maralla	0,09136	MUY BAJA
El Cedro	0,101072	MUY BAJA	El Cedro	0,09776	MUY BAJA

Tercer Muestra ICOSUS			Cuarto Muestra ICOSUS		
Aguas Negras	0,092	MUY BAJA	Aguas Negras	0,1303936	MUY BAJA
El Roble	0,08624	MUY BAJA	El Roble	0,1210048	MUY BAJA
Caney	0,14192	MUY BAJA	Caney	0,1283008	MUY BAJA
Maralla	0,14384	MUY BAJA	Maralla	0,2097664	BAJA
El Cedro	0,25968	BAJA	El Cedro	0,0988288	MUY BAJA

Figura 12 Resultados del cálculo del índice ICOSUS. Fuente: Los Autores

### Índice de contaminación trófica (ICOTRO)

A continuación, se presenta el cálculo del ICOTRO en los principales afluentes del río Guachicos.

Teniendo en cuenta la información para el cálculo del índice se determinaron los valores para cada uno de los cuatro muestreos obteniendo los siguientes resultados:

Primer Muestreo ICOTRO			Segundo Muestreo ICOTRO		
Aguas Negras	0	Oligotrofia	Aguas Negras	1	Hipereutrofia
El Roble	3	Hipereutrofia	El Roble	2	Hipereutrofia
Caney	0	Oligotrofia	Caney	0	Oligotrofia
Maralla	0	Oligotrofia	Maralla	0	Oligotrofia
El Cedro	0	Oligotrofia	El Cedro	1	Hipereutrofia

Tercer Muestreo ICOTRO			Cuarto Muestreo ICOTRO		
Aguas Negras	1	Hipereutrofia	Aguas Negras	1	Hipereutrofia
El Roble	5	Hipereutrofia	El Roble	5	Hipereutrofia
Caney	0	Oligotrofia	Caney	1	Hipereutrofia
Maralla	1	Hipereutrofia	Maralla	5	Hipereutrofia
El Cedro	3	Hipereutrofia	El Cedro	1	Hipereutrofia

Figura 13 Resultados para el índice ICOTRO. Fuente: Los Autores

En la siguiente tabla se resumen en promedio los datos obtenidos en cada uno de los índices de los principales afluentes del Río Guachicos:

Tabla 10. Promedio de los índices ICO's

Quebrada	Promedio índices				
	ICA	ICOMO	ICOMI	ICOSUS	ICOTRO
<b>Aguas Negras</b>	0,50	0,52	0,25	0,12	0,75
<b>El Roble</b>	0,50	0,54	0,24	0,11	3,75
<b>Caney</b>	0,53	0,67	0,25	0,13	0,25
<b>Maralla</b>	0,33	0,72	0,30	0,16	1,5
<b>El Cedro</b>	0,54	0,49	0,23	0,14	1,25

Fuente. Los autores

## Análisis de Resultados.

Teniendo en cuenta los resultados presentados anteriormente en relación con el cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA), Los valores encontrados presentan valores menores entre (0.5) en el primer muestreo en las quebradas El Roble y Aguas Negras indicando mediciones con mala calidad de agua, con promedios ligeramente superiores a (0.5) para las fuentes: El Roble, Aguas Negras y El Cedro, indicando aguas poco contaminadas de calidad regular. La quebrada La Maralla en todas las mediciones se encuentra agua de mala calidad que indica contaminación, como lo indica la figura.

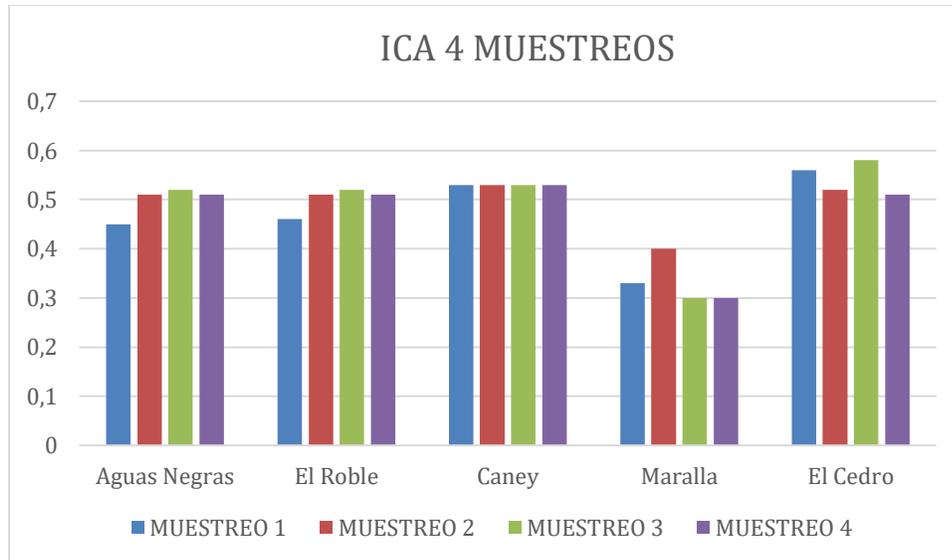


Figura 14 Comparativo valores ICA muestreos. Fuente: los autores

Los resultados obtenidos para el ICA se pueden apreciar con el análisis de conglomerados, donde se evidencia que hay 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, se relaciona que la fuente la maralla se aleja de los demás conglomerados al ser la que presenta la calidad de agua de baja a mala, acorde con los resultados de los índices ICO's e ICA.

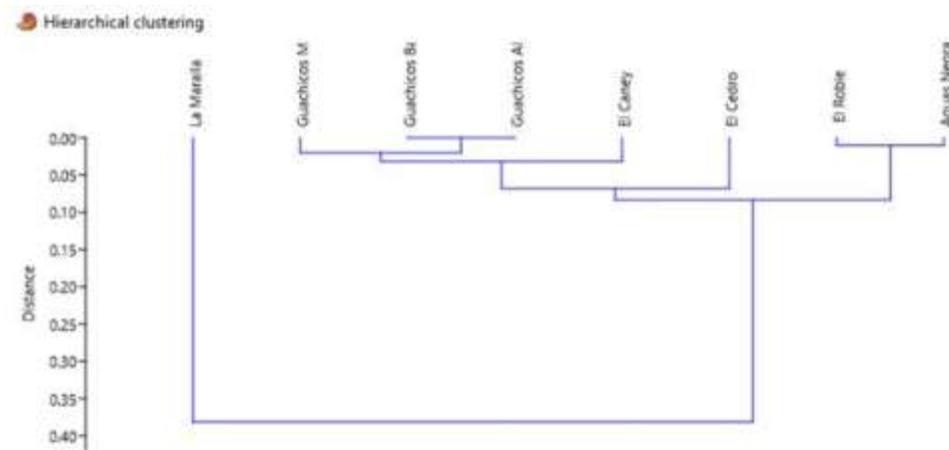


Figura 15 Análisis de conglomerados ICA para las quebradas estudiadas

Fuente: los autores

Una vez Obtenidos los datos en el calculo del ICA para las cinco fuentes hidricas y comparandolos frente a los rangos establecidos por el IDEAM para definir la calidad de agua tenemos que las fuentes se encuentran sobre los rangos de mala y regular calidad, en la siguiente grafica se observa la informacion a detalle:

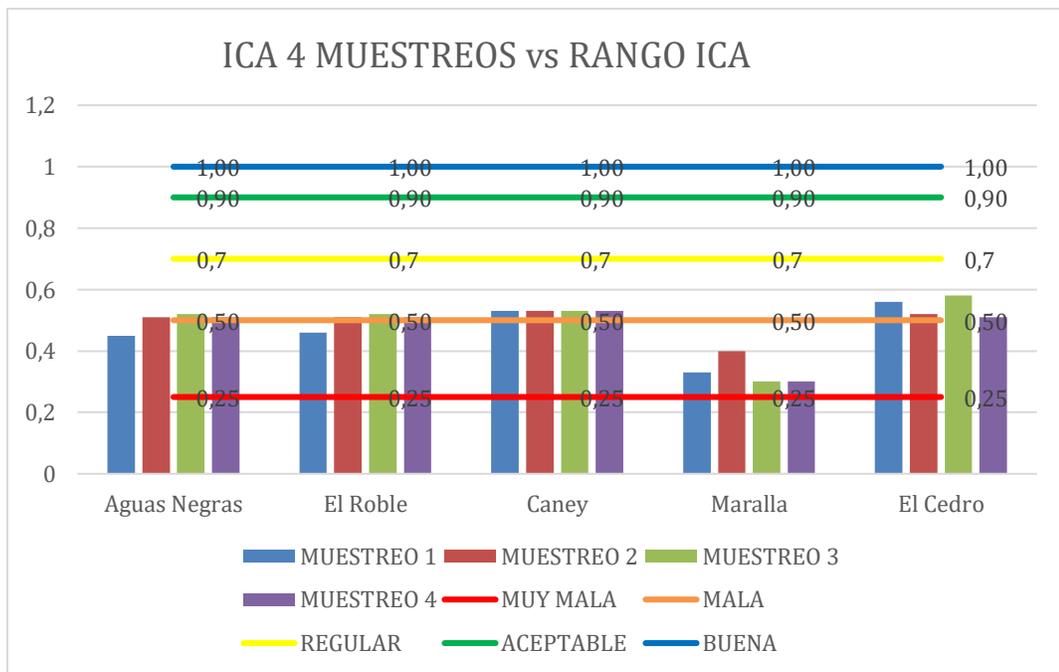


Figura 16 Comparativo ICA y muestreos. Fuente: los autores

En cuanto al cálculo del Índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS, Los valores presentados oscilan entre (0.8 - 0.26), indicando una cantidad baja o muy baja de sólidos suspendidos disueltos, lo que indica que no hay problemas para la salud o las actividades agropecuarias en la zona de estudio (Cañas, 2010). De acuerdo a los datos obtenidos se aprecian resultados en la siguiente grafica.

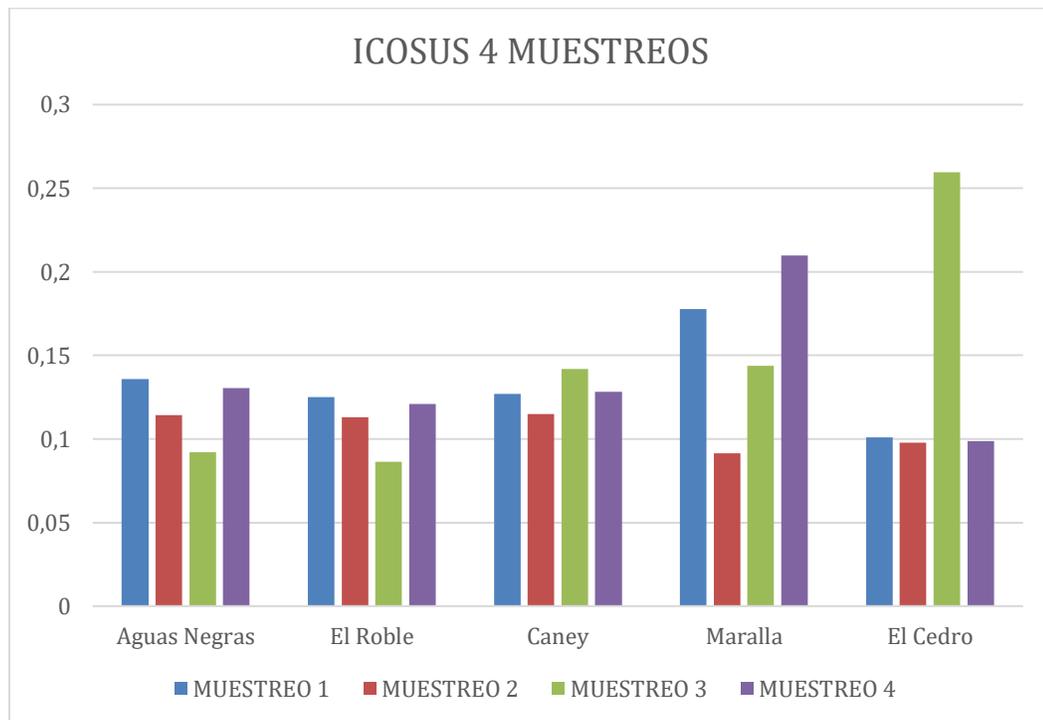


Figura 17 Resultados del ICOSUS para los muestreos

Fuente: La investigación

El Índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS, indica que en las quebradas objetos de estudio no presentan niveles de contaminación altos, teniendo como resultado promedio (0.11 - 0.16), dicho valor se encuentra en un rango de contaminación muy bajo para las fuentes estudiadas, dichos valores también indican acorde con la naturaleza del indicador que la cantidad de sólidos suspendidos totales es muy baja y razón por la cual no se están presentando problemas de contaminación directamente relacionados con este índice, tal como se muestra en la siguiente grafica :

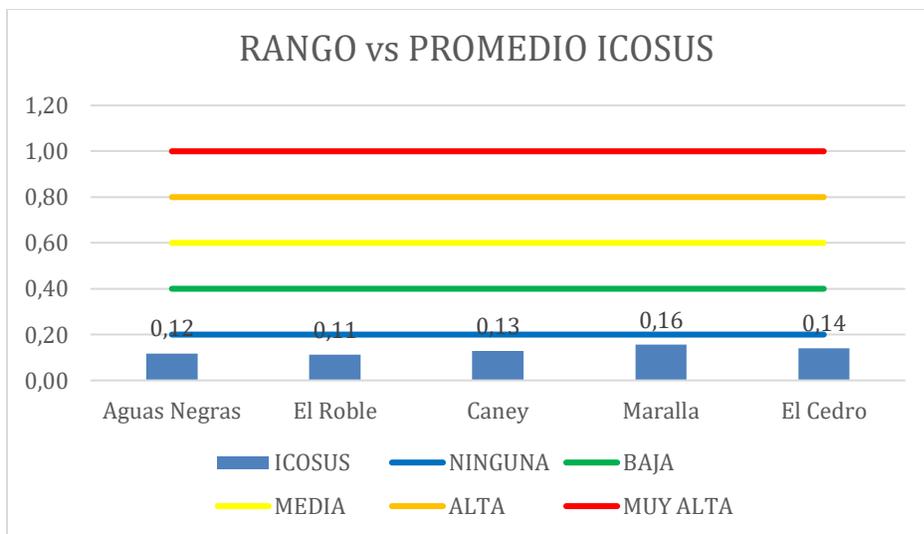


Figura 18 Comparativo ICOSUS

Fuente: los autores

El cálculo del Índice de contaminación por mineralización ICOMI, Este índice se expresa en variables como conductividad, sólidos disueltos, dureza representada en los cationes de calcio y magnesio y alcalinidad. Dado que los valores van entre (0.22 y 0.30) son considerados como bajos, por tanto, no se presentan problemas de mineralización en la zona de estudio.

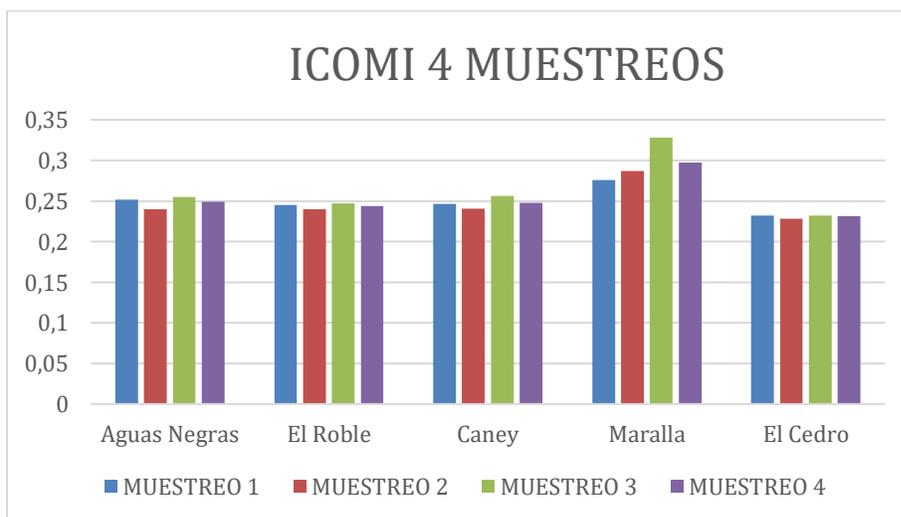


Figura 19 Resultados ICOMI para los muestreos Fuente: La Investigación

El cálculo del Índice de contaminación por mineralización ICOMI, indica que en las 5 quebradas objetos de estudio no presentan niveles de contaminación altos, teniendo como resultado promedio (0.11 - 0.16), dicho valor se encuentra en un rango de contaminación bajo para las 5 fuentes hídricas tal como se muestra en la siguiente gráfica

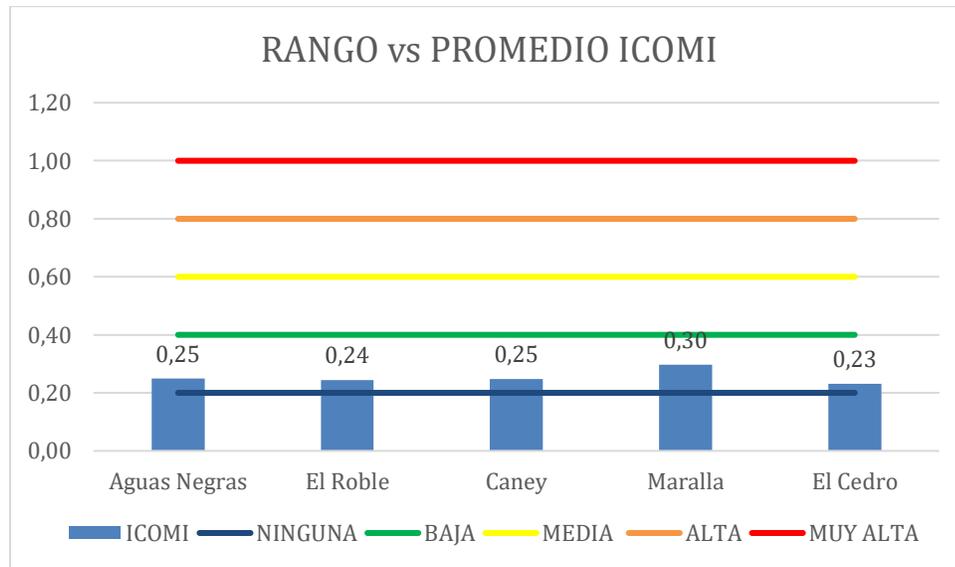


Figura 20 Comparativo ICOMI

Fuente: los autores

El ICOTRO determina la contaminación por trófica, a partir de las concentraciones de fósforo, para indicar los tipos de ortofosfatos que se presentan en la zona de estudio, Los valores del ICOTRO pueden estar influenciados principalmente por los fertilizantes a base de fósforo utilizados en los cultivos aledaños a las fuentes, especialmente los utilizados en el cultivo de café, al arrastre de material por lavado del suelo y a las descargas de aguas residuales domésticas de algunos asentamientos urbanos localizados en esta zona.

Además de la deforestación y la erosión, los suelos agrícolas influyen debido a la carga de nutrientes, debido a que los escurrimientos al pasar por una tierra que no tiene protección lavan la capa fértil llevándose consigo los nutrientes de la misma, en este caso, a la quebrada (RAPAL, 2010). En la siguiente gráfica se representa los resultados obtenidos para el índice:

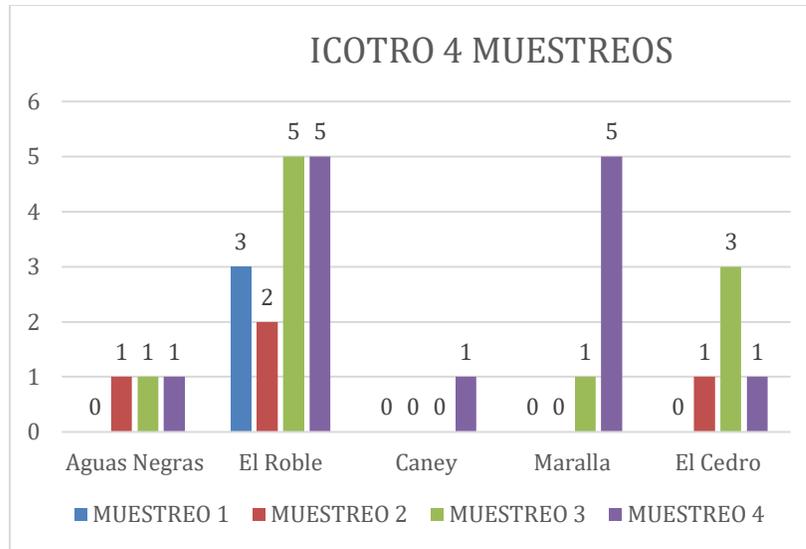


Figura 21 Comparativo ICOTRO Fuente: los autores

A continuación se plasma los datos promedio del ICOTRO comparados con los rangos definidos para el grado de contaminación en la grafica:

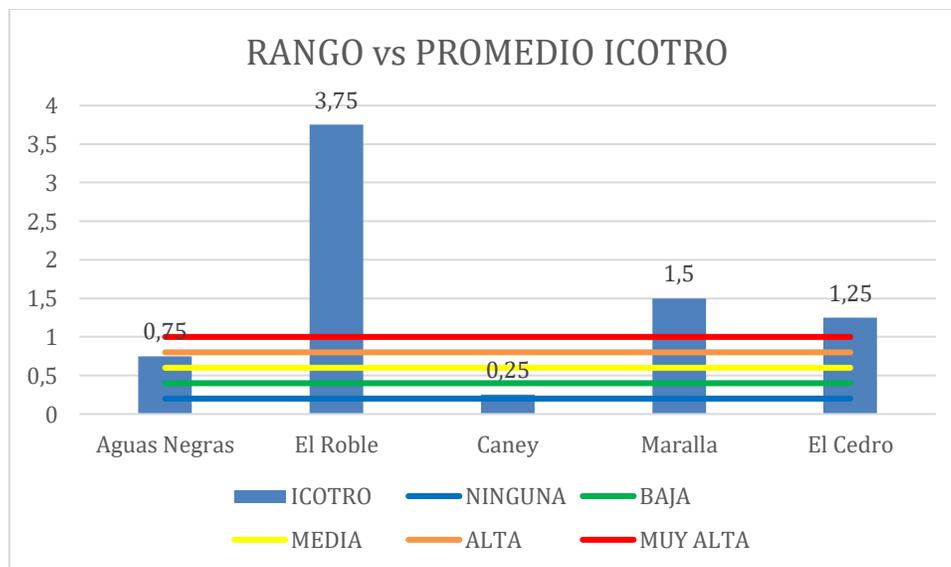


Figura 22 Rangos comparativos para ICOTRO Fuente: los autores

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) se determino con la toma de muestras en los dos ultimos muestreos, acorde con la capacidad y disponibilidad del laboratorio,

con este índice se establece el grado de contaminación para las fuentes hídricas en estudio, en los correspondiente al aporte de materia orgánica, teniendo resultados de grados de contaminación baja en primer muestreo para la quebrada aguas negras, el roble y el cedro; las quebradas caney y maralla con grado de contaminación alto de acuerdo al rango para ICOMO, para el segundo muestreo todas las fuentes hídricas superan los el grado de contaminación alto rango que se encuentra entre (0.6 a 0.8), se puede asociar también la temporada seca para este muestreo, la siguiente gráfica describe los valores obtenidos:

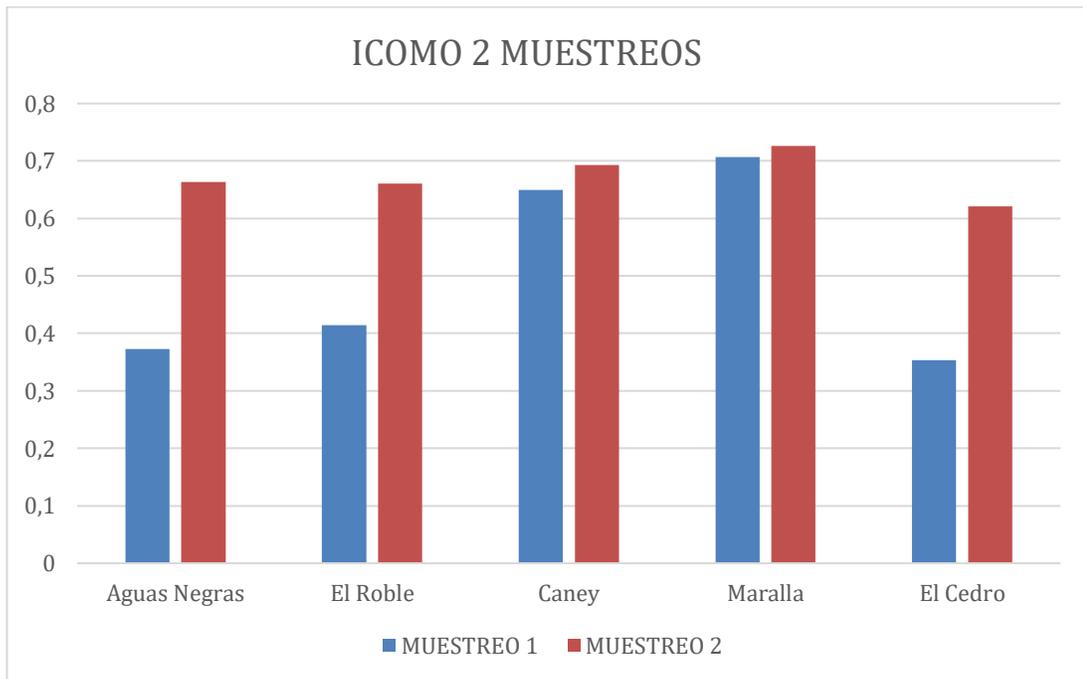


Figura 23 Promedio ICOMO Fuente: los autores

A continuación se plasma los datos promedio del ICOMO comparados con los rangos definidos para el grado de contaminación en la gráfica:

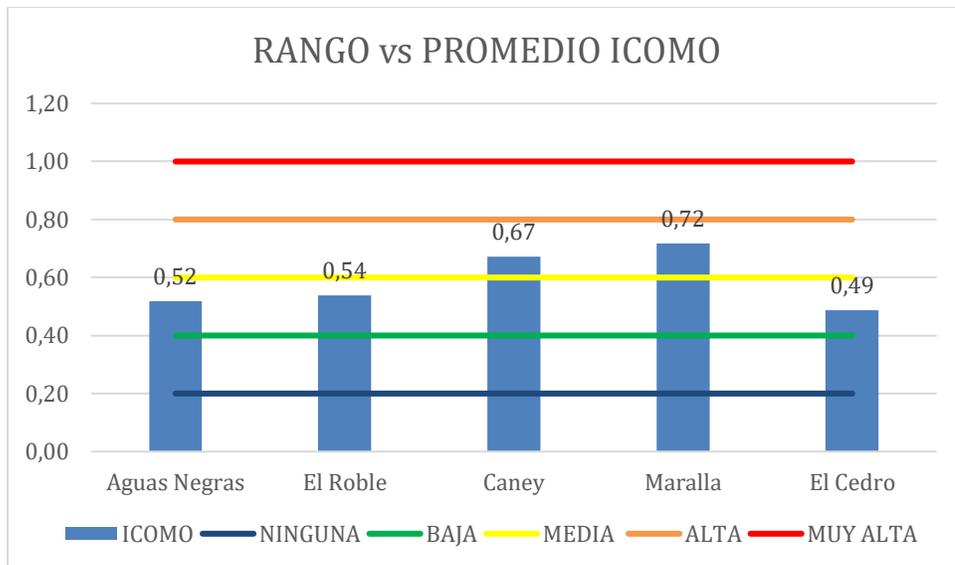


Figura 24 Comparativo y promedio ICOMO Fuente: los autores

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).

## Conclusiones

Dados los resultados en los cálculos para el índice de calidad de agua en los principales afluentes del río Guachicos, tenemos que las cinco fuentes hídricas están por debajo de los rangos establecidos para la calidad del agua determinada acorde con el índice de calidad de agua ICA. La fuente hídrica La Maralla de acuerdo al ICA se encuentra en el rango de calidad mala con un valor de (0.33) convirtiéndola en la fuente con más baja calidad de las cinco estudiadas, por otra parte las demás fuentes hídricas se encuentran en el rango de calidad regular con valores entre (0.50 – 0.54).

De acuerdo a los resultados obtenidos en los índices de contaminación para las fuentes hídricas en estudio tenemos que para el índice de contaminación ICOSUS, ICOMI las cinco fuentes hídricas están dentro del grado de contaminación ninguno y bajo, en el rango determinado de medición para los índices.

Dados los resultados del índice ICOTRO, se identifica la fuente hídrica con niveles de contaminación muy alto, como lo es la quebrada el roble, esta fuente supera el rango máximo de contaminación que se determina para este índice, sus resultados en los 4 muestreos superó el puntaje 1. Se evidencia de esta manera contaminación asociada a hipereutrofia.

Una vez realizado el cálculo de los índices de contaminación y el índice de calidad de agua para los principales afluentes del río Guachicos, se puede evidenciar que la mayor parte de los problemas de contaminación y de la calidad del agua se generan como consecuencia del desarrollo de las actividades humanas, debido a que se evidencia los mayores resultados que se acercan al valor de 1, representado una contaminación para el índice de contaminación ICOMO y ICOTRO, evidenciando contaminación por alta carga orgánica y el uso de compuestos aromáticos, plaguicidas y fertilizantes.

El estudio de los índices de contaminación representa una opción para la valoración cuantitativa, que se traduce en una fácil interpretación, donde se pueden involucrar diferentes

parámetros que son de gran importancia para en el estudio de la calidad y de la contaminación del agua.

Los resultados de la valoración por medio de los índices de contaminación y de calidad de agua representa muchas ventajas, ya que aproxima la información del comportamiento del recurso hídrico en diferentes áreas, brinda información sobre el uso que se esta haciendo de esta y las posibles afectaciones a la que ha sido sometida.

Con la valoración final de los índices e indicador de calidad de agua se propone que se puedan generar criterios que faciliten la toma de decisiones sobre la protección de la cuenca y el recurso, sobre sus prioridades y usos del agua en los diferentes campos, especialmente el cultivo de café que predomina en la zona del estudio.

Para finalizar, se resalta la importancia del trabajo comunado entre las instituciones publicas, la academia y la comunidad, con el proposito de tomar decisiones producto de los resultados, que apunten a la mejora de las condiciones ambientales, control, vigilancia y reducción de tiempos y costos de tratamiento.

## Bibliografía

Cañas, S. (2010). Determinación y evaluación de índices de contaminación (Icos) en cuerpos de agua. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/10901>

IDEAM. (s.f.). Índice de calidad de agua en corrientes superficiales (ICA). Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21\\_HM\\_Indice\\_calidad\\_agua\\_3\\_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031)

IDEAM. (2007a). Aspectos científicos y técnicos de la aplicación de los índices de calidad de agua en ríos. Disponible en <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020735/Informe%20Final/INFORME%20FINAL%20IDEAM.pdf>

IDEAM. (2007b). Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>

IDEAM. (2007c). Determinación de Coliformes totales y E. Coli de aguas mediante la técnica de sustrato definido, colilert por el método de Numero Más Probable. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+agua+NMP+M%C3%A9todo+Colilert.pdf/463a6c8d-122c-4f75-8572-81bd64baa2d2>

IDEAM. (2010). Toma de Muestras para Aguas Superficiales para la red de calidad del IDEAM. Obtenido de <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I004+INSTRUCTIVO+TOMA+DE+MUESTRAS+DE+AGUAS+SUPERFICIALES+PARA+LA+RED+DE+CALIDAD+DEL+IDEAM.pdf/359abf07-33e5-4262-911c-df2e9d6be323?version=1.0>

IDEAM. (S.F). Índice de calidad de agua - IDEAM. Disponible en

<http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125497/36->

[3.21\\_D\\_Indice\\_calidad\\_agua\\_4\\_FI.xls/f0857ae1-25b0-4caa-8036-fb37643ec836](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125497/36-3.21_D_Indice_calidad_agua_4_FI.xls/f0857ae1-25b0-4caa-8036-fb37643ec836)

IDEAM (s.f.). Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00).

Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. 10 p. Disponible en [http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21\\_HM\\_Indice\\_calidad\\_agua\\_3\\_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031)

Madera, L. C., Angulo, L. C., Díaz, L. C., & Rojano, R. (2016). Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando

Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación. *27(4)*.

doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000400011>

Martel, A. B. (2004). *ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>

Minsalud. (2018). Informe Nacional de Calidad de Agua para Consumo Humano INCA 2016. Pág. 376.

Pedroza, N. M. (2011). Análisis de la cantidad y calidad del recurso hídrico de los principales afluentes de la cuenca hidrográfica del río Guarapas, Departamento del Huila Colombia. Memoria de la Investigación Tutelada. Pitalito.

Pitalito, A. d. (2016). Plan de Desarrollo Municipio de Pitalito 2016-2019 Acuerdo 022. Obtenido de [http://www.alcaldiapitalito.gov.co/normatividadvigente/Acuerdo\\_022-2016.pdf](http://www.alcaldiapitalito.gov.co/normatividadvigente/Acuerdo_022-2016.pdf)

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), 135-153. Retrieved May 04, 2019, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-53831997000100009&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009&lng=en&tlng=es).

Ramírez, Restrepo, R., & Cardeñosa, M. (1999). ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN PARA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS CONTINENTALES Y VERTIMIENTOS. FORMULACIONES. CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro, 1(5), 89-99. Retrieved May 09, 2019, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-53831999000100008&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008&lng=en&tlng=es)

RAPAL (2010). Contaminación y eutrofización del agua, impactos del modelo de agricultura industrial. Disponible en <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-y-eutrofizacion-del-agua-impactos-del-modelo-de-agricultura-industrial/>

Roldán Pérez, G.; Campuzano, P. Calarcá, D.A.; Molina, F.J.; Rodríguez, D.C.; Benjumea, C.A.; Villabona, S.L.; Rios, M.I. (2019). Water Quality in Colombia. En G. Roldan (Ed.), Water Quality in the Americas, Risks and Oportunities. (p.p. 191-225). México. ONU. Programa Hidrológico Internacional. Interamerican Network of Academies of Sciences IANAS

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 (3), 172-181.

Solis, A. V., Tamayo, E. M., & Palacios, N. Y. (2015). Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano utilizando índices de contaminación. 34(1). Obtenido de <https://revistas.utch.edu.co/ojs5/index.php/reinvestigacion/article/view/553>

