

**Evaluación de la calidad del agua superficial a través de los índices ICA, ICOMI,
ICOMO e ICOSUS. Caso de estudio: microcuenca del río Guachicos, fuente
abastecedora del acueducto del municipio de Pitalito-Huila**

Paola Andrea Hurtado Rojas

Javier Esneider Silva Macías

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Pitalito Huila

2022

**Evaluación de la calidad del agua superficial a través de los índices ICA, ICOMI,
ICOMO e ICOSUS. Caso de estudio: microcuenca del río Guachicos, fuente
abastecedora del acueducto del municipio de Pitalito-Huila**

Paola Andrea Hurtado Rojas

Javier Esneider Silva Macías

Asesor:

Ing. MSc. PhD. Andrés Mauricio Munar Samboní

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Pitalito Huila

2022

Resumen

En el presente trabajo se evaluó la calidad del agua superficial de la microcuenca del río Guachicos. Para tal fin, fue analizada la variabilidad de la calidad de agua superficial del río Guachicos a partir de la determinación de los índices ICA (índice de calidad del agua), ICOMI (índice de contaminación por mineralización), ICOMO (índice de contaminación por materia orgánica) e ICOSUS (índice de contaminación por sólidos suspendidos), utilizando métodos fisicoquímicos y microbiológicos. En este sentido se efectuaron cuatro (4) campañas de monitoreo realizadas durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2021 y se realizó un seguimiento diario del registro del nivel de agua de la microcuenca para la estimación sobre la disponibilidad hídrica. Esto se logró gracias al acompañamiento de la Empresa AMBILAB S.A.S. y la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM.

Por otro lado, fueron propuestas estrategias de Gestión Integrada del Recurso Hídrico GIRH, a través de mecanismos para una mejor adaptabilidad, uso eficiente y ahorro del agua, enfocadas a la demanda, calidad, oferta y riesgo, fortalecimiento institucional y gobernabilidad, de conformidad con lo establecido en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la microcuenca del río Guachicos sobre la evaluación de la calidad del agua y los análisis realizados por la empresa AMBILAB S.A.S en las cuatro campañas de monitoreo efectuadas, la calidad del agua en la microcuenca no representa riesgo sanitario. Los valores de ICA, ICOMI e ICOSUS se encuentran dentro los rangos aceptables. Sin embargo, los resultados del ICOMO reflejan valores medios y altos de contaminación por materia orgánica.

Por medio de este proyecto se pretende garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, evaluando los niveles de calidad a través del uso de Índices de Calidad del Agua (ICA) del río Guachicos fuente abastecedora del acueducto del municipio de Pitalito – Huila, promoviendo la gestión, el uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio para la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social.

Palabras claves: Recurso hídrico, contaminación hídrica, calidad del agua, índices de contaminación, monitoreo.

Abstract

In this research, the surface water quality of the Guachicos river microbasin was evaluated. For this purpose, the variability of the surface water quality of the Guachicos river was analyzed by determining the ICA (water quality index), ICOMI (mineralization contamination index), ICOMO (organic matter contamination index) and ICOSUS (suspended solids contamination index), using physicochemical and microbiological methods. In this context, four (4) monitoring campaigns were carried out during the months of September, October, November and December 2021 and a daily register of the water level of the microbasin was carried out to estimate water supply. This was achieved thanks to the support of AMBILAB S.A.S. and the Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM.

On the other hand, Integrated Water Resource Management (IWRM) strategies were proposed, through mechanisms for better adaptability, efficient use and water security, focused on demand, quality, supply and risk, institutional strengthening and governance, in accordance with the provisions of the National Policy for Integrated Water Resource Management.

According to the results obtained in the Guachicos River microbasin on the evaluation of water quality and the analyses conducted by AMBILAB S.A.S. in the four monitoring campaigns carried out, the water quality in the microbasin does not represent a sanitary risk. The ICA, ICOMI and ICOSUS values are within acceptable ranges. However, the ICOMO results reflect medium and high values of organic matter contamination.

The purpose of this project is to assure the sustainability of the water resource, evaluating the quality levels through the use of Water Quality Indexes (WQI) of the Guachicos river, supplying source of the aqueduct of the municipality of Pitalito - Huila,

promoting the management, efficient and effective use, articulated to the territorial planning and use for the conservation of the ecosystems that regulate the water supply, considering water as a factor of economic development and social welfare.

Keywords: Water resources, water pollution, water quality, pollution indexes, monitoring.

Tabla de Contenido

Lista de Tablas.....	9
Lista de Figuras	10
Introducción.....	12
Planteamiento del problema	15
Justificación	18
Objetivos.....	21
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos	21
Marco Referencial	22
Marco Contextual.....	22
Marco Conceptual y Teórico	25
Marco Normativo.....	32
Metodología.....	34
Área de estudio	34
Análisis de variabilidad de la calidad de agua a partir de la determinación de índices de calidad de agua.....	37
Estrategias de Gestión Integrada del Recurso Hídrico GIRH.....	49
Resultados y Discusión.....	50
Estrategias de Gestión Integrada del Recurso Hídrico GIRH.....	63

Conclusiones..... 68

Referencias Bibliográficas..... 70

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Variables consideradas para el cálculo del ICA</i>	43
Tabla 2. <i>ICA</i>	46
Tabla 3. <i>Líneas de acción para la estrategia de seguimiento y monitoreo. Adaptado de “Diagnóstico Integral del Recurso Hídrico en la microcuenca del río Guachicos, fuente abastecedora del acueducto de Pitalito, Huila”</i>	65

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Macro- localización de la cuenca del rio Guarapas.</i>	22
Figura 2. <i>Localización del punto de muestreo del Rio Guachicos.</i>	34
Figura 3. <i>Localización geográfica punto de muestreo.</i>	36
Figura 4. <i>Acompañamiento de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia y la Empresa AMBILAB.</i>	37
Figura 5. <i>Estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental con el acompañamiento de docentes investigadores y técnicos de campo de la empresa AMBILAB S.A.S.</i>	38
Figura 6. <i>Curva de calibración de caudales aguas arriba de la bocatoma del acueducto del municipio de Pitalito.</i>	39
Figura 7. <i>Escala Limnimétrica.</i>	40
Figura 8. <i>Medición de velocidades y Medición con Multiparámetro</i>	42
Figura 9. <i>Rango establecido para los índices de contaminación -ICOs</i>	46
Figura 10. <i>Proceso de instalación de las escalas Limnimétricas</i>	50
Figura 11. <i>Creciente en el Rio Guachicos y daños a las Escalas Limnimétricas.</i>	52
Figura 12. <i>Registro de lectura horaria de los niveles del agua</i>	53
Figura 13. <i>Variación del nivel del agua durante el periodo de toma de lecturas del nivel del agua de las Escalas Limnimétricas.</i>	54
Figura 14. <i>Hidrograma generado a partir de la curva de calibración</i>	55
Figura 15. <i>Toma muestras de calidad del Agua.</i>	56
Figura 16. <i>Medición de parámetros de calidad del agua en campo</i>	57
Figura 17. <i>Toma de muestras de agua para su posterior análisis</i>	57
Figura 18. <i>Medición de profundidad.</i>	58

Figura 19. <i>Índice de Calidad del Agua - ICA para los cuatro Monitoreos realizados en el Rio Guachicos</i>	58
Figura 20. <i>Índice de Contaminación por Mineralización - ICOMI para los cuatro Monitoreos realizados en el Rio Guachicos</i>	59
Figura 21. <i>Índice de Contaminación por Materia Orgánica - ICOMO para los cuatro Monitoreos realizados en el Rio Guachicos</i>	60
Figura 22. <i>Índice de Contaminación por Solidos Suspendidos -ICOSUS para los cuatro Monitoreos realizados en el Rio Guachicos</i>	62

Introducción

La cuenca hidrográfica del río Guarapas tiene entre sus efluentes más de 30 microcuencas que abastecen de agua a los acueductos de los municipios de Palestina y Pitalito. Según Minambiente (2022) es un área vital de aprovisionamiento donde se regula el uso del agua para las actividades agrícolas e industriales como también para el consumo humano. La cuenca del río Guarapas se encuentra ubicada geográficamente en las coordenadas $1^{\circ} 34' 18,2526''$ y $1^{\circ} 57' 4,0356''$ de latitud norte y $-76^{\circ} 19' 18,57''$ y $-75^{\circ} 57' 44,4924''$ de longitud oeste. Su extensión territorial es de aproximadamente 705 km^2 (POMCA, 2019, p. 1) y entre sus microcuencas, el río Guachicos es uno de los principales cuerpos de agua POMCH (2007).

La microcuenca hidrográfica del río Guachicos se ubica en el departamento del Huila, al costado sur del municipio de Pitalito, localizado a los $1^{\circ} 52' \text{ N}$ y $76^{\circ} 02' \text{ W}$. Dista de Neiva a 188 Km y limita al norte con los municipios de Timaná, Elías y Saladoblanco; al occidente con Isnos y San Agustín, al sur con el municipio de Palestina en el Huila y Santa Rosa en el departamento del Cauca, y al oriente con Acevedo. La microcuenca del río Guachicos tiene una extensión aproximada de 248,49 Km (24.849 Ha.), abarcando cerca del 42.04% del territorio municipal (POMCA, 2019).

El acueducto del municipio de Pitalito (Huila) se abastece del río Guachicos, según EMPITALITO (2021), el río Guachicos tiene una longitud de 41 Km y cuenta en el punto de captación con un caudal medio de entre 1800 L/s y 1300 L/s, abasteciendo de agua potable a más de 24.500 usuarios. La captación se realiza mediante una bocatoma lateral, provista de rejilla vertical y horizontal para limpieza en estructura transversal y cámara de derivación lateral de amplia capacidad, de la cual se desprenden las tuberías de aducción (EMPITALITO, 2021). El punto de captación está ubicado en la vereda la Palma del

corregimiento de Bruselas, el cual tiene como límites: al norte la vereda Puerto Lleras, al sur la vereda Cabuyal del Cedro, al occidente la vereda Lomitas y al oriente la vereda Cabeceras; se encuentra a una altura de 1.432 m.s.n.m (CAM, 2009, p. 130).

Con base a la necesidad de determinar la calidad del agua superficial del río Guachicos, se evaluaron los índices físicos y químicos correspondientes a: Índice de Calidad del Agua (ICA) que se encarga de medir las condiciones microbiológicas, físicas y químicas; Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI) que mide la alcalinidad, conductividad y dureza; Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) que mide los coliformes totales, la demanda bioquímica de oxígeno e Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) que mide la concentración de sólidos en el agua. Estos índices fueron comparados posteriormente con estudios previos, aportando así significativamente a la investigación académica como una herramienta de mejoramiento de la calidad de agua y a la propuesta de estrategias de acondicionamiento para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico GIRH.

La calidad del agua superficial es de gran importancia dentro del desarrollo de la sociedad ya que se relaciona directamente con la salud de la población. Según la OMS (2006), los planes de mantenimiento y mejora de los servicios de abastecimiento de agua de consumo deben tener en cuenta las funciones vitales y complementarias del organismo responsable de la vigilancia y del proveedor de agua. El nivel social y económico se refleja en la potabilidad del agua ya que los tratamientos previos requieren de etapas y procesos en complejos sistemas como lo son las plantas potabilizadoras.

El objetivo del siguiente proyecto aplicado está orientado a ser una herramienta de consulta para conocer el estado actual de la calidad del agua del río Guachicos. Los resultados obtenidos serán de gran interés para la continuidad de futuras investigaciones

permitiendo identificar, prevenir e implementar estrategias de mejoramiento del agua superficial.

Planteamiento del problema

Colombia es uno de los países que se encuentra con mayor abundancia del recurso Hídrico, pero desafortunadamente la población y las actividades socioeconómicas son unos de los principales responsables sobre el número de impactos de origen antrópico causante que la oferta del recurso hídrico sea cada vez menor (MAVDT, 2010). El cambio climático es uno de los principales problemas que hoy en día afecta al recurso hídrico, según el informe políticas de la ONU-AGUA (2017), este fenómeno reduce la disponibilidad del recurso hídrico, disminuyendo la calidad del agua, por ende se constituye como una amenaza al desarrollo sostenible, ya que el aumento de la temperatura afecta la variabilidad del ciclo del agua y provoca fenómenos meteorológicos extremos. Los impactos del cambio climático son variables y desiguales y afectan a todas las regiones del globo, y al mismo tiempo el aumento de la demanda del agua predestinada a la agricultura, energía, industrias y el consumo humano lo complica aún más.

Según lo establecido por la Ley 99 de 1993 y el Decreto 216 de 2003, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) como coordinador del Sistema Nacional Ambiental, es el organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de definir y formular, garantizando la participación de la comunidad, las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, entre ellos el agua.

El municipio de Pitalito es considerado unos de los mayores productores de café ya que cuenta con grandes extensiones cultivadas. Sin embargo, esto se identifican afectaciones en el recurso hídrico, principalmente por cultivos que se encuentran en la zona

alta del corregimiento de Bruselas, así como asentamientos que incrementan la carga de contaminación. Estas actividades domésticas y agrícolas originan aguas residuales que descargan directamente al río Guachicos, afectando significativamente el recurso hídrico, con sustancias agroquímicos y aguas mieles producto del proceso de café, ya que no se cuentan con sistemas de tratamiento adecuado (Alcaldía de Pitalito- Huila, 2016). El Río Guachicos, es uno de los principales afluentes del Magdalena en la zona sur del departamento y surca el territorio de sur a norte constituyendo un eje que divide en dos la geografía local (Plan de Desarrollo Municipio de Pitalito, 2016 – 2019).

De acuerdo con el Plan de Ordenación y Manejo de la Microcuenca Hidrográfica del río Guachicos POMCH (2007), a medida que la microcuenca recorre su cauce, va cambiando su composición, y forma, debido a la contaminación por vertimiento de aguas residuales proveniente uso doméstico, industrial y agrícola y la tala indiscriminada de los bosques, creando una gran problemática ambiental. Así mismo, se identifican otros problemas relacionados con:

Tala indiscriminada de bosques y laderas de las quebradas y fuentes hídricas.

Contaminación de cuerpos de agua por descarga de aguas residuales, aguas residuales y manejo de productos químicos para el cultivo del café y algunos cultivos frutales.

Degradación y pérdida de la fertilidad del suelo, debido a la proliferación de cultivos extensivos (café y ganadería).

Manejo inadecuado de residuos sólidos, contaminación de aguas y suelos.

Falta de articulación y compromiso de las organizaciones en las tareas de protección ambiental.

Falta de actitud concertante y mediadora de los organismos del estado al actuar ante la comunidad y compromiso al llevar a cabo los proyectos destinados para la microcuenca.

Expansión frontera agrícola: los cuales han comprometido la oferta hídrica de la microcuenca incrementando los niveles de sedimentación (POMCH, 2009)

Según la problemática expuesta, surgen las siguientes preguntas de investigación, que se buscan que sean resueltas ¿Qué actividades o fenómenos están poniendo en riesgo el recurso hídrico en la cuenca? ¿Cómo es la calidad del agua en la cuenca? ¿Qué estrategias de Gestión Integrada del Recurso Hídrico GIRH podrían ser implementadas?

Justificación

El territorio colombiano cuenta con un gran recurso hídrico tanto superficial como subterráneo que es utilizado para diversas actividades como la ganadería, agricultura, abastecimiento y demás necesidades. No obstante, la ampliación de la frontera agrícola y pecuaria, la extracción de minerales ya sea de manera ilegal o legal, crean constantes vertimientos que afectan significativamente la calidad del agua, pues estos contaminantes se generan en la parte alta donde están los afluentes de los principales ríos de Colombia, y muchas veces a alturas mayores de las bocatomas de los acueductos veredales o de las mismas ciudades, ocasionando de esta forma daños irreparables en la salud de los consumidores y afectaciones a la fauna y la flora que hacen vida en estos territorios, a esto le sumamos los vertimientos de aguas residuales generados en los centros poblados o municipios, deteriorando la calidad del agua en nuestro país (ENA, 2018).

Colombia cuenta con 51.049.000 millones de habitantes aproximadamente, según el DANE en el año 2021. Sin embargo, se estima que el 92% tienen acceso a agua potable, el 72% en zonas rural y el 99% en zonas urbanas. En este sentido, el tratamiento de agua para consumo humano es uno de los pilares en prevenir enfermedades infecciosas principalmente digestivas causadas por parásitos presentes en el agua (García, et al. 2018).

El recurso hídrico es motor de desarrollo y eficiencia en las actividades sectoriales y sociales, al no contar con tratamientos adecuados se produce una alteración de su calidad, es por esto que su estudio requiere seguimiento y evaluación, para definir estrategias de conservación que impliquen acuerdos de los sectores gremiales, institucionales y sociales (ENA, 2018).

Según el IDEAM (2007), en Colombia se han implementado redes de monitoreo que permiten coleccionar información de interés sobre el recurso hídrico, por lo tanto, existen

tres niveles jerárquicos: redes nacionales, redes regionales y redes locales. La red de monitoreo de calidad de agua superficial empezó desde 1976, en el marco de la misión como servicio Hidrológico Nacional, orientadas para la actividad de riego, los monitoreos se realizaban en quebradas y arroyos, se contaban con 250 puntos con mediciones de calidad.

La cuenca alta del río Magdalena, en la cual se ubica la subcuenca del río Guarapas y la microcuenca del río Guachicos, enfrenta desafíos en la gestión y disponibilidad del recurso hídrico, que requieren evaluaciones hidrológicas confiables (Elgamal, Reggiani & Jonoski, 2016). Los resultados del Índice de Riesgo de la Calidad para consumo humano—IRCA, y la vigilancia de calidad del agua, informan que el departamento del Huila presenta un grado de contaminación de 60,7 y para el municipio de Pitalito es de 63,4 lo que indica que el agua no es óptima para el consumo humano especialmente en las zonas rurales (Trujillo et al., 2020), desafortunadamente este recurso hídrico no cuentan con sistemas de tratamiento al momento de consumirse directamente por los habitantes, por esta razón, la importancia de realizar este trabajo para seguir monitoreando el índice de calidad de agua, y tener bases para tomar acciones frente a esta situación que se presenta, con el objetivo de mejorar la calidad de la fuente hídrica del río Guachicos.

Se pretende dinamizar los conocimientos adquiridos en las diferentes áreas, en armonía con el desarrollo comunitario. El reconocer el agua como el elemento dinamizador de la sociedad, aprender a reconocer la calidad del agua para los tipos de uso y manejo, las condiciones mínimas para uso doméstico, formas de mejorar la calidad, la prevención de riesgos y atención de emergencias por exceso o déficit del agua en las comunidades, participar en los procesos de gobernanza del agua desde la unidad geográfica, desde su entorno, el socializar los conocimientos ancestrales de comunidades campesinas e

indígenas y su apropiación de los usos y la relación e importancia de la academia, la articulación interinstitucional y la aplicación del método científico. (PNGIRH, 2010)

Por ende, es necesario determinar la calidad del agua del río Guachicos, esta importante fuente hídrica es la abastecedora de la zona urbana del Municipio de Pitalito y demás acueductos veredales, calidad que presenta degradación por las actividades diarias de la población, asentamiento en las zonas ribereñas que generan impactos negativos sobre la fuente hídrica. Por esta razón es substancial recopilar información de los afluentes del Río Guachicos perteneciente a la cuenca del río Guarapas, con el propósito de evaluar a mediano y largo plazo las actividades en la zona de estudio. Es de destacar que la operación del sistema de acueducto la realiza EMPITALITO ESP, y la calidad de agua es evaluada mediante la caracterización de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, entre otras.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la calidad de agua del río Guachicos, fuente abastecedora del acueducto del municipio de Pitalito - Huila

Objetivos específicos

Analizar la variabilidad de la calidad de agua en río Guachicos, a partir de la determinación de los índices ICA, ICOMI, ICOMO e ICOSUS

Proponer estrategias de Gestión Integrada del Recurso Hídrico GIRH, encaminadas al mejoramiento de la calidad agua, la preservación y conservación del recurso.

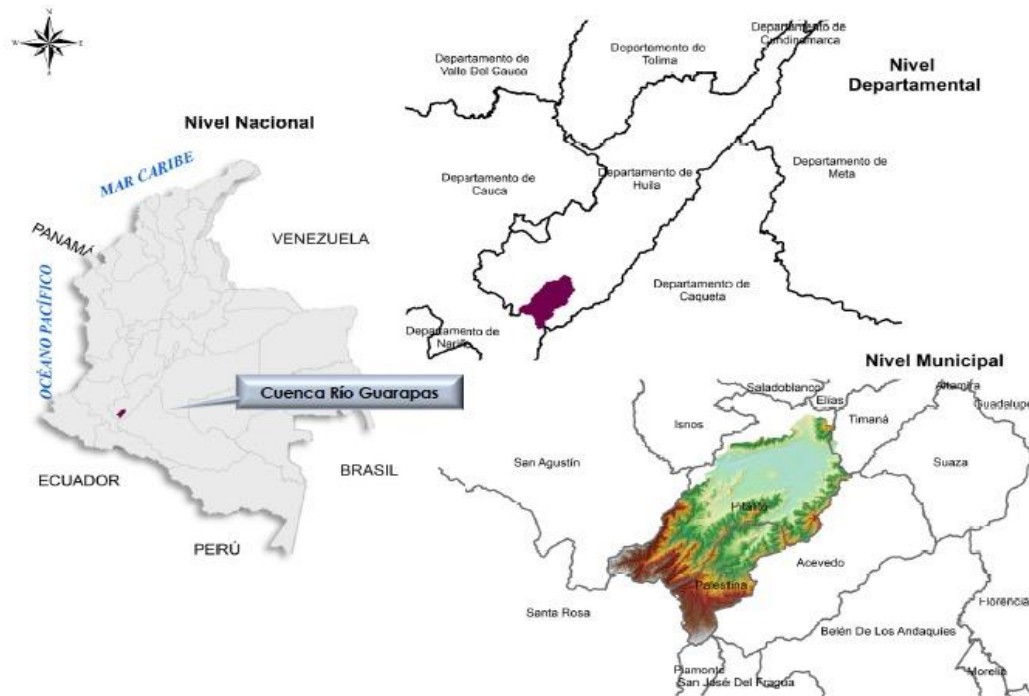
Marco Referencial

Marco Contextual

La Cuenca del Río Guarapas tiene un área de 705,7 km² desde su principio localizado en el municipio de Palestina hasta su desembocadura en el Río Magdalena (POMCA, 2019). Según el IDEAM (2015), la cuenca se clasifica con el código 2101-02 y concierne a la subzona hidrográfica del Alto Magdalena bajo la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena-CAM.

Figura 1.

Macro- localización de la cuenca del río Guarapas.



Fuente: POMCA río Guarapas (2019)

De acuerdo con el Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del Río Guarapas (POMCH, 2019) a parte alta de la cuenca es un área de carácter estratégico que

tiene reconocimiento internacional al integrar la Reserva de la biosfera Cinturón Andino, declarado por la UNESCO en 1979, constituye uno de los sitios prioritarios de conservación a la biodiversidad global de la Eco región de los Andes del Norte, de la biodiversidad a nivel mundial de acuerdo a Conservación Internacional. En su área de influencia la cuenca posee diferentes categorías de manejo en áreas resguardadas como el Parque Nacional Natural Serranía de los Churumbelos Auka Wasi, y Parque Natural Regional, Parques Naturales Municipales de Pitalito y Palestina, que son de gran importancia para mantener y asegurar la preservación de los ecosistemas existentes.

La empresa de servicios públicos de EMPITALITO en el año 2019, realizó un estudio sobre la calidad del agua en el Guachicos, denominado: “*Diagnóstico Integral del Recurso Hídrico en la microcuenca del río Guachicos, fuente Abastecedora del acueducto del municipio de Pitalito, Huila*”; donde realizaron seis muestreos. De acuerdo con los resultados obtenidos, se considera que la calidad del agua de la bocatoma se encuentra dentro de los rangos establecidos los índices ICA, ICOMI e ICOSUS, en cambio el ICOMO la calidad del agua es preocupante por el gran contenido de coliformes y DBO presentes ya que las aguas residuales no cuentan con un tratamiento y son descargadas directamente al río.

En el año 2020 la Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD realizó un estudio denominado *Determinación del Estado de la Calidad del agua y la contaminación de los Afluentes del Río Guachicos en la zona alta de la sub-cuenca, en Pitalito Huila*. De acuerdo con los resultados obtenidos sobre el índice de contaminación (ICA), de las afluentes analizadas, la contaminación es baja ya que se obtuvo un rango de ICA entre (0,5 - 0,54) excepto la afluente La Maralla que su contaminación es media ya que se obtuvo un rango ICA (0,33) (Cruz & Ortega, 2020). Con estos resultados se induce que los afluentes que se descargan al río Guachicos ya llegan contaminados por sustancias sólidas o líquidas alterando

sus características. Por otro lado, el ICOSUS y el ICOMI tienen un promedio entre 0,11 – 0,16 indicando contaminación baja, en cambio en el ICOMO se presenta una contaminación alta oscila entre 0,6 a 0,8, y en el ICOTRO evidenciando hipereutrofia, lo que indica presencia de fosforo influenciado a base de fertilizantes por los cultivos aledaños a la fuente.

Como se ha mencionado anteriormente las aguas residuales domésticas y agrícolas son descargadas directamente a las afluentes hídricas sin ser tratadas adecuadamente, por ende, se identifica mayor presencia de contaminación de acuerdo con estos dos últimos índices. En este sentido, se considera que la situación de la calidad del agua no es alarmante todavía, pero si seguimos así, se podría conducir a complicaciones muy graves irreversibles a futuro (Cruz & Ortega, 2020)

Marco Conceptual y Teórico

Estudio Nacional del Agua

Es una herramienta importante debido a su rigor científico en la recopilación de datos, análisis y construcción de información. El Estudio Nacional del Agua (ENA) permite tomar decisiones administrativas y políticas en los ámbitos regional y nacional, que contribuye a conocimientos del estado del agua superficial y subterránea, para la conservación y cuidado de los recursos hídricos, biótica y los seres humanos, asimismo aporta información para la planificación de la variabilidad climática que permita alternativas de uso y proyecciones para próximas décadas. En el Estudio Nacional del Agua (ENA) se presentan capítulos relacionados con la cuenta ambiental, permitiendo a los habitantes del país tener conocimiento integral de las subzonas hidrográficas (ENA 2018).

Hidrología

El ciclo hidrológico es importante en el mecanismo del planeta ya que este proceso consiste en la circulación del agua, en cambios de estados físicos dinamizados con la gravedad y la radiación solar, en este proceso también se encuentra transpiración, evaporización, condensación, precipitación, escorrentía, acumulación y filtración (IDEAM, 2007).

Monitoreo de cantidad de Agua

Se realiza un seguimiento a los niveles del agua ya sean ríos o quebradas, se constituye un modo de control y seguimiento de la cantidad de agua superficial, el objetivo del monitoreo de cantidad es obtener información veraz y confiable, para así permitir dar alertas anticipadas sobre inundaciones (IDEAM, 2017). Este proceso se realiza por estaciones hidrométricas lo cual se procesa por instrumentos automáticos como limnógrafos o también están Mira hidrométrica o limnómetro. El monitoreo de agua superficial permite

realizar un seguimiento para determinar la oferta disponible en cantidad y calidad del agua, también ayuda a comprender fenómenos climáticos y a definir si son fuentes lentos o loticos y por último ayuda a identificar eventos hidrológicos (IDEAM, 2018).

Tipos de mediciones

Existen dos tipos de conservaciones de las cuales son:

Observación directa o discreta: esta observación es sencilla y económica, ya que consiste en la medición directa del nivel del agua a una hora establecida, esto se realiza con instrumentos como la mira hidrométrica o limnimétrica (IDEAM, 2018).

Observación registro continuo: este consiste en equipos donde se registre el nivel del agua pero que sea un proceso automático, este proceso de resultado precisos, sobre todo en distintas épocas hidrológicas, pero esta operación es más costosa por eso se limitan su operación (IDEAM, 2018).

Niveles

Es la altura o elevación del agua en la superficie de una fuente hídrica, esto se utiliza para conocer el caudal durante un periodo de tiempo, nos permite identificar crecientes o amenazas de las corrientes, además conociendo el nivel del agua alcanzado sirve para poder determinar el componente Hidrológico-Hidráulico (IDEAM, 2018).

Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar (MADS, 2012). La cuenca constituye una unidad adecuada para la planificación ambiental del territorio, dado que sus límites fisiográficos se mantienen en un tiempo considerablemente

mayor a otras unidades de análisis, además involucra una serie de factores y elementos tanto espaciales como sociales, que permiten una comprensión integral de la realidad del territorio.

Fuentes de agua de origen superficial

Se considera el agua como un constituyente importante en el mundo en que vivimos según Barrenechea (2004), el agua tiene una gran influencia en los procesos bioquímicos que ocurren en la naturaleza, se considera que el agua es un solvente universal ya que tiene la capacidad de disolver o dispersar; por otro lado la contaminación de los cuerpos de agua superficiales es un problema grave, debido actividades antropogénicas los residuos que se descargan directamente al recurso hídrico alteran la composición del agua, por lo tanto, la calidad de las aguas se degrada, en algunos casos son tan contaminadas que recuperar su estado natural resulta muy costos; por ende se debe realizar un estudio para conocer las características físicas, químicas y biológicas antes de seleccionar un agua de consumo.

Calidad de agua

Este término es relativo a la composición del agua en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias ya sea tóxicas o producidas por procesos naturales. Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas (ONU-DAES, 2014).

De acuerdo con Barrenechea (2004), a continuación, se cita la definición de algunos parámetros fisicoquímicos que ayudan en el proceso de determinar la calidad del agua.

Aspecto fisicoquímico del agua

Define la composición física y química del agua, ya que se puede presenciar sustancias químicas disueltas e insolubles, que se pueden originar de manera natural o antrópica, se realiza la evaluación con los principios de equilibrio químico, como la ecuación de Nerst, ley de acción de Masas, y el conocimiento de los mecanismos reacción y procesos irreversibles.

Sólidos suspendidos totales (SST)

Se consideran en suspensión los sólidos que tienen partículas superiores a un micrómetro, están presentes en aguas residuales, en solubles y en estado coloidal.

Temperatura

Es el parámetro que influye en el proceso de retardo o aceleración de la actividad biológica, la precipitación de compuestos, desinfección y los procesos de mezcla, entre otras actividades, además es el parámetro más importante en el agua.

pH

Este parámetro tiene que estar entre un rango de 5,0 y 9,0 que permita controlar el comportamiento y los constituyentes del agua, además influyen en la corrosión, y en los procesos de coagulación y desinfección.

Alcalinidad

Este parámetro está influenciado por el pH, temperatura y fuerza iónica, es importante en el tratamiento del agua ya que reacciona con coagulantes hidrolizados, cuando alcanza niveles altos de alcalinidad el sabor del agua cambia, por eso se debe neutralizar los ácidos.

Dureza

Corresponde a la cantidad de carbonato de calcio, que es la suma de cationes polivalentes, los que más se utilizan son el calcio y el magnesio, para la eliminación o remoción de dureza en el agua se realiza mediante precipitación con cal o combinado cal-

carbonato, conocido como ablandamiento cal-soda, si no se realiza un tratamiento a un agua que presente gran cantidad de dureza puede causar obstrucciones en tuberías y esto puede ser nocivo para la salud.

Oxígeno disuelto (OD)

Cuando un cuerpo de agua tiene baja presencia de oxígeno puede indicar una contaminación elevada, esto puede ser por causa de actividades bacterianas por presencia de materia orgánica en grandes cantidades, por esta razón se considera un indicador de contaminación, además es importante tener en cuenta las variaciones relativas ya que si estas son grandes significa que hay demasiada presencia de vegetación, gérmenes aeróbicos y reductores inorgánicos, la cantidad de oxígeno disuelto en una fuente hídrica está relacionado con la capacidad de autodepuración.

Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)

Determina la cantidad de oxígeno requerido para descomponer la materia orgánica, este proceso es por acción bioquímica aeróbica, es un proceso sencillo en teoría, ya que es un fenómeno natural, pero en si es complejo; para la determinación del cálculo se realiza mediante el contenido inicial de oxígeno, esto se determina con otra muestra semejante después de cinco días y la diferencia entre los contenidos corresponde a DBO5.

Demanda Química De Oxígeno (DQO)

Determina la cantidad de oxígeno consumido por cuerpos reductores sin la intervención de organismos vivos, para desarrollar el proceso de eliminación de materia orgánica se realiza mediante procesos de sedimentación, filtración y coagulación y si la carga de materia esta elevada es inevitable realizar un proceso de precloración; en los parámetros de la calidad de agua establecen que los contaminantes orgánicos tienen que ser retirados en su totalidad para que se establezca un agua óptima para consumo humano.

Conductividad Eléctrica (C.E)

Es la medida de conducir corriente eléctrica, esto depende de la presencia de iones, movilidad, su concentración, valencia y de su temperatura; las soluciones de los compuestos inorgánicos son buenos conductores, en cambio las moléculas orgánicas al no disociarse en el agua conducen baja escala (IDEAM, 2006)

Índice de Calidad del agua - ICA

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 (IDEAM, 2013). El Índice de Calidad del agua ICA será determinado mediante la siguiente

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \right)$$

Donde:

ICA_{njt} : índice de calidad del agua de una corriente superficial, j estación de monitoreo, t en el tiempo, n evaluado con base de variables.

W_i : es el ponderador relativo asignado a la variable de calidad i

I_{ikjt} : es el valor calculado de la variable i , estación de monitoreo j , registro durante la medición k , periodo de tiempo t .

n : es el número de variables de calidad, es igual de 5 o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Índice de contaminación por Mineralización - ICOMI

Se expresa en numerosas variables, de las cuales se eligieron: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonates y bicarbonatos (Ramírez, Restrepo & Viña, 1997). El Índice ICOMI será determinado mediante la siguiente ecuación:

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

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 del oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como lo demuestra la ausencia de correlaciones entre ellas (Ramírez, Restrepo & Viña, 1997). El Índice ICOMO será determinado mediante la siguiente ecuación:

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO} + I_{Coliformes} + I_{\% \text{ Oxígeno}})$$

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 (Ramírez, Restrepo & Viña, 1997). El Índice ICOSUS será determinado mediante la siguiente ecuación:

$$SST < 340\text{mg/L entonces} = -0,02 + 0,003 * SST$$

$$\text{si } SST > \frac{340\text{mg}}{L} \text{ entonces, } ICOSUS = 1$$

$$SST < 10\text{mg/L entonces, } ICOSUS = 0$$

Gestión Integrada del Recurso Hídrico – GIRH

Los servicios ecosistémicos son de vital importancia porque proveen la vida, son fundamentales en las comunidades ya que permiten la seguridad alimentaria y el desarrollo económico, por ende, es de gran importancia cuidar, proteger el recurso agua, según UICN (2012), la gestión integral del recurso hídrico (GIRH) busca encaminar el desarrollo político en materia del recurso hídrico pero llevando de la mano el desarrollo económico, social y ambiental, para así promover el aprovechamiento del recurso hídrica coordinado en estos tres pilares.

Marco Normativo

La calidad del agua para el consumo humano se regula y se lleva a cabo por medio de leyes, decretos y resoluciones que tienen su base en los artículos de la Constitución política de Colombia que se han ido modificando, para el desarrollo de los derechos básicos de la sociedad.

Los siguientes artículos de la Constitución Política de Colombia (1991) brinda las herramientas de distribución de recursos económicos y de las competencias para la participación de las entidades competentes en la regulación de la calidad del agua y la creación del Sistema General de Participaciones.

Artículo 356 - Sistema General de Participaciones de los departamentos, distritos y municipios, para el monitoreo, control y seguimiento para la cobertura y calidad del agua.

Artículo 357 - Sistema General de Participaciones de los departamentos, distritos y municipios, para el incremento anual de recursos económicos según un porcentaje igual al promedio de la variación de los ingresos corrientes de la nación.

También se contemplan las siguientes leyes, artículos y decretos.

Ley 99 de 1993: por la cual se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. (Minambiente, 1993)

Ley 788 de 2002: por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal del orden nacional y territorial; y se dictan otras disposiciones (Función Pública, 2002).

Decreto Ley 028 de 2008: Por medio del cual se define la estrategia de monitoreo, seguimiento y control integral al gasto que se realice con recursos del Sistema General de Participaciones (Función Pública, 2008)

Decreto 1575 de 2007: por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Artículo 1. Objeto y campo de aplicación. El objeto del presente decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada (Función Pública, 2007).

Resolución 2115 de 2007: por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (Minsalud, 2007).

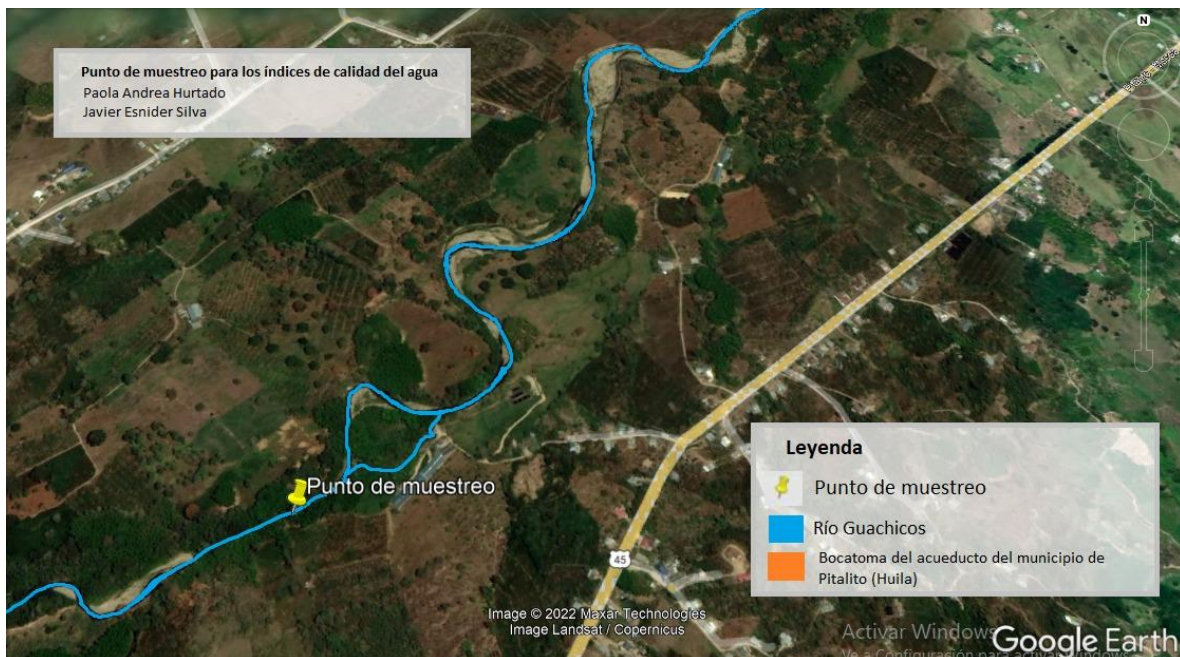
Metodología

Área de estudio

El trabajo fue desarrollado en la cuenca baja del río Guachicos, municipio de Pitalito, en inmediaciones a la bocatoma (Figura 2), donde se estableció el punto de muestreo. El río Guachicos tiene una extensión de 5000 hectáreas de protección en el parque Natural Municipal de Pitalito-Huila, es abastecedora de la zona urbana y rural con 33 veredas del corregimiento de Bruselas y del corregimiento de Criollos con 7 veredas, como también diferentes distritos de riego: Cabeceras, Holanda, San Francisco y el Limón, además en el municipio de Pitalito, su mejor representación económica son los extensos cultivos de café, con más de 4.500 hectáreas y unos 2500 predios (Cruz & Ortega, 2020).

Figura 2.

Localización del punto de muestreo del Río Guachicos.



Fuente: Autores

Según Lizcano (2007), el río Guachicos nace en el macizo colombiano específicamente en la reserva el Berlín, en la zona alta de la vereda el porvenir, perteneciente al corregimiento de Bruselas, del Municipio de Pitalito-Huila; tiene una altura de 2400 msnm, desde donde nace hasta su desembocadura que es en el río Guarapas tiene un recorrido de 45km, atraviesa el centro poblado de Bruselas y recibe la descarga de 172 afluentes que alimentan el río Guachicos, esta microcuenca está ubicada en el parque Natural Municipal que lo conforman las siguientes veredas: El Porvenir, Kennedy, la Esperanza, Pensil, Palmito, Monte Cristo y el Cedro (POMCH.2009).

Reconocimiento del punto de muestreo del Río Guachicos

Este punto de monitoreo fue seleccionado gracias a la pre-salida a campo, con el acompañamiento de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia y la Empresa AMBILAB - Laboratorio Ambiental acreditado por el IDEAM (Res. 2597/2017), debido a que se han realizados otros estudios sobre la calidad del agua en la misma sección del cauce de río Guachicos. En este sentido se logró identificar el punto de muestreo, el cual fue aguas arriba de la bocatoma del municipio de Pitalito, Huila, ubicado en la vereda la palma del corregimiento de Bruselas, con unas coordenadas: Longitud 01102517 Oeste, Latitud 00689601 Norte, a 1405 m.s.n.m (AMBILAB, 2021). A continuación, en la figura 5 se identifica la localización del punto de monitoreo donde se realizó el estudio de la calidad del agua.

Figura 3.

Localización geográfica punto de muestreo.



Fuente: Autores

En la siguiente figura se identifican la presencia de los docentes de la universidad Nacional Abierta y a Distancia y la Empresa AMBILAB, realizando el trabajo de campo sobre el estudio de la calidad del agua.

Figura 4.

Acompañamiento de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia y la Empresa AMBILAB.



Fuente: Autores

Análisis de variabilidad de la calidad de agua a partir de la determinación de índices de calidad de agua

Se evaluó la calidad del agua de la microcuenca del río Guachicos realizando cuatro monitoreos y seguimientos, empleando el Índice de Calidad del Agua (ICA), el cual es un tipo de índice que nos permite identificar la calidad de un cuerpo hídrico superficial afectado, y así poder determinar la vulnerabilidad o la susceptibilidad del agua frente amenazas potenciales. También se puede considerar como una forma de agrupación simplificada de algunos constituyentes indicadores del deterioro en la calidad de una fuente hídrica, facilitando la evaluación de los constituyentes que afectan la calidad del agua para sus diferentes usos y resumir esta evaluación en un simple valor que nos sirva como análisis general del estado de cuerpos de agua (Caho & López, 2017).

Por ende, para evaluar la calidad de agua en la cuenca abastecedora del municipal de Pitalito, se realizó cuatro campañas de monitoreo y seguimiento, basada en análisis físico-químicos, organolépticos y microbiológicos; se realizó por cuatro meses continuos (un muestreo por mes). Las coordenadas de los puntos de monitoreo fueron definidas en la pre-salida de campo con el equipo técnico de calidad de aguas junto con el acompañamiento de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia y la Empresa AMBILAB S.A.S, como se ilustra en la siguiente fotografía.

Figura 5.

Estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental con el acompañamiento de docentes investigadores y técnicos de campo de la empresa AMBILAB S.A.S.



Fuente: Autores

Para la determinación del caudal promedio de la microcuenca del río Guachicos, se utilizó la curva de calibración o descarga propuesta por Munar (2019) construida en el mismo punto de monitoreo (Figura 4), a partir de registro continuo de niveles y mediciones de caudal. Es de destacar que la curva de calibración es la representación de las descargas

(Q) en la intersección de un río de las lecturas de Mira (H) (Munar, 2019). Para la medición del caudal fueron desarrolladas cuatro campañas de monitoreo, lo cual se utilizó un micromolinete hidrométrico, calibrado por la empresa AMBILAB – Laboratorios Ambientales acreditado por el IDEAM. Fueron consideradas los siguientes monitoreos:

Monitoreo 1 19 / 09/ 2021 9:30 Am

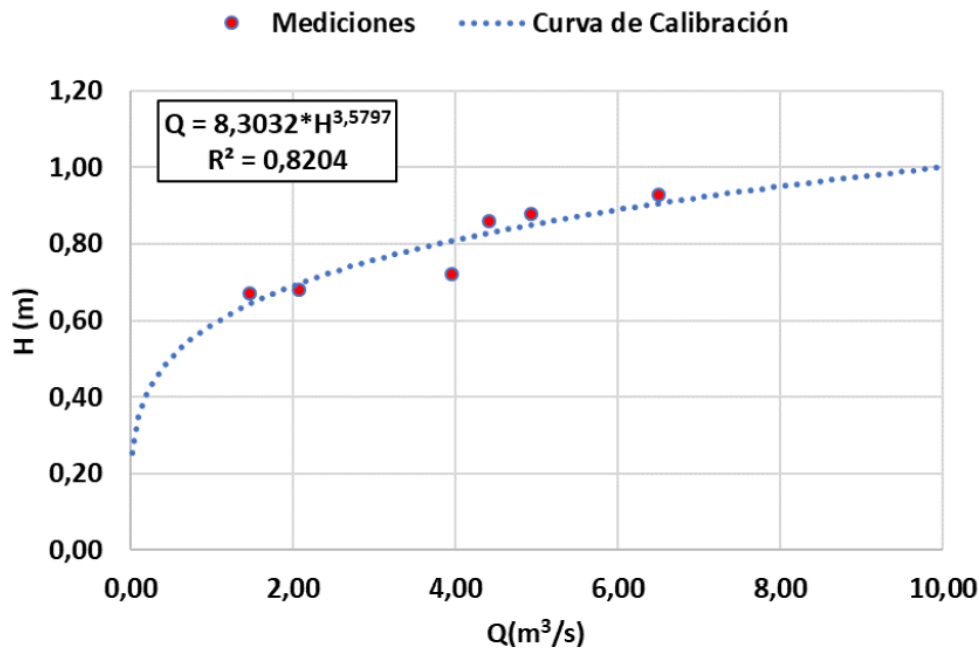
Monitoreo 2 23 / 10/ 2021 8:30 Am

Monitoreo 3 20 / 11/ 2021 7:30 Am

Monitoreo 4 10 / 12/ 2021 8:00 Am

Figura 6.

Curva de calibración de caudales aguas arriba de la bocatoma del acueducto del municipio de Pitalito.



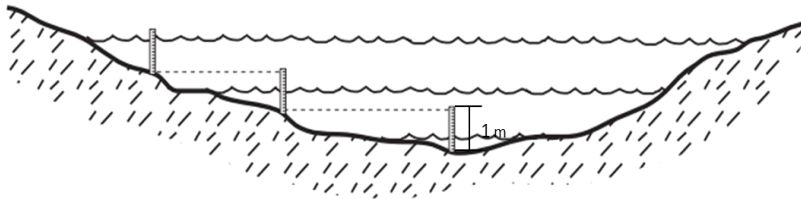
Fuente: Autores

Para la estimación de los niveles del agua, fue establecido el proceso de medición

directa. La medición directa del nivel del agua se realizó a una hora determinada mediante la utilización de instrumentos (mira hidrométrica ó limnómetro) (IDEAM, 2017). En este caso, se realizó un proceso de instalación de escalas limnimétricas, la cual corresponde a una regla graduada dispuesta en tramos de (1) metro, tal como se evidencia en la siguiente figura:

Figura 7.

Escala Limnimétrica.



Fuente: OMM (2011)

Disponibilidad hídrica

Obtención de información hidrométrica

En la actualidad, el río Guachicos no cuenta con estaciones de monitoreo continuo. Para la obtención de información hidrométrica se instalaron las escalas limnimétricas en el cauce del punto de monitoreo, se tomaron registro de lecturas de las variaciones máximas y mínimas de los niveles del agua en dos horarios diferentes de 6 am y 6 pm. Esto se realizó por un periodo continuo de dos meses (Octubre y Noviembre), la estación fue visitada para revisar su estado lo cual se hizo una observación directa; para ello se tuvo en cuenta la metodología en el protocolo de monitoreo de agua, según el IDEAM (2017).

Para la instalación se consideraron los siguientes requerimientos:

- Fueron instaladas sobre la orilla próxima al sector más profundo del cauce, se verificó que la cota cero quede a 0.5 metros por debajo del fondo del cauce para

ríos pequeños, y 0.5 metros por debajo del nivel de aguas mínimas, en ríos grandes.

- Las miras quedaron con una buena fijación, garantizando que no se produzcan movimientos verticales que alteren las lecturas
- Las miras quedaron colocadas de tal manera que permitan una fácil operación; permitiendo leer con comodidad, seguridad y precisión.

Para el desarrollo de los análisis de los parámetros fisicoquímicos que son: temperatura, conductividad, pH, Oxígeno disuelto (OD), se realizó con el equipo Multiparámetro; Dureza, Alcalinidad, Fosforo y Nitritos se realizó con el Kit de Prueba HI 3811. Estos análisis fueron desarrollados en campo, según la guía y preservación de muestras IDEAM, (2020). Sólidos Totales Disueltos (STD), DBO, DQO, Turbiedad, coliformes Totales y Echerichia Coli, estos parámetros fueron desarrollados por el Laboratorio AMBILAB-Laboratorio Ambiental Acreditado por el IDEAM (Res. 2597/2017).

En la siguiente figura se evidencia el monitoreo de calidad de agua realizada en campo con el acompañamiento de la empresa AMBILAB – Laboratorio Ambiental, acreditado por el IDEAM (Res. 2597/2017).

Figura 8.

Medición de velocidades y Medición con Multiparámetro



Fuente: Autores

Consecutivamente, se determinaron los índices de calidad de agua ICA, Índice de Contaminación por Mineralización - ICOMI, Índice de Contaminación por materia Orgánica - ICOMO e Índice de Contaminación por Sólidos Suspendedos - ICOSUS, siguiendo la metodología propuesta por el IDEAM (disponible en <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/agua>) y Ramírez, Restrepo & Viña. (1997).

Índice de Calidad de Agua ICA

Se desarrolló a partir de los datos de concentración con 5 variables que se identifican en la siguiente tabla, la unidad de medida y la ponderación que está, dentro de la fórmula del cálculo.

Tabla 1.

Variables consideradas para el cálculo del ICA.

No	Variable	Unidad de Medida	Ponderación
1	Oxígeno Disuelto	% Porcentaje de Saturación	0,2
2	Solidos Suspendidos Totales	mg/l	0,2
3	Demanda Química de Oxígeno- DQO	mg/l	0,2
4	Conductividad Eléctrica,	uS/cm	0,2
5	pH	Unidades pH	0,2

Fuente: Autores

El Índice de Calidad del agua ICA fue determinado mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \right)$$

Donde:

ICA njt : índice de calidad del agua de una corriente superficial, j estación de monitoreo, t en el tiempo, n evaluado con base de variables.

W_i : es el ponderador relativo asignado a la variable de calidad i

I_{ikjt} : es el valor calculado de la variable i, estación de monitoreo j, registro durante la medición k, periodo de tiempo t.

n: es el número de variables de calidad, es igual de 5 o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Para este trabajo se consideraron con 5 variables de las cuales se van a explicar a continuación según la metodología del IDEAM, (s.f.).

1. Oxígeno disuelto (OD)

Para realizar esta operación se tiene en cuenta la temperatura. Se calcula el porcentaje de saturación PS_{OD}

$$PS_{OD} = \frac{Ox * 100}{C_p}$$

Donde:

Ox = Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l)

C_p = Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l)

Cuando se haya calculado el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, se prosigue a calcular el subíndice de oxígeno disuelto con esta ecuación:

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * PS_{OD})$$

Nota: cuando el porcentaje de saturación es mayor de 100%

$$I_{OD} = 1 - (1 * PS_{OD})$$

2. Sólidos suspendidos totales (SST)

El subíndice se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_{SST} = 1 - (1 - 0,02 + 0,003 * SST)$$

$$\text{si } SST \leq 4,5 \text{ entonces } I_{SST} = 1$$

$$\text{si } SST \leq 3,20 \text{ entonces } I_{SST} = 0$$

3. Demanda Química de oxígeno (DQO)

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

si $DQO \leq 20$ entonces $I_{DQO} = 0,91$

si $20 < DQO \leq 25$ entonces $I_{DQO} = 0,71$

si $25 < DQO \leq 40$ entonces $I_{DQO} = 0,51$

si $40 < DQO \leq 80$ entonces $I_{DQO} = 0,26$

si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0,125$

4. Conductividad Eléctrica (C.E)

Refleja condiciones de mineralización y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{Log}10C.E)}$$

cuando $I_{C.E.} < 0$ entonces $I_{C.E.} = 0$

5. pH

Mide el nivel de acidez o basicidad de las aguas, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

si $pH < 4$, entonces $I_{pH} = 0,1$

si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0,02628419 \cdot e^{(pH \cdot 0,520025)}$

si $7 < pH \leq 8$, entonces $I_{pH} = 1$






si $8 \leq pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 \cdot e^{[(pH-8) \cdot -5187742]}$

Si $pH > 11$, entonces $I_{pH} = 0,1$

Para interpretar la calificación de la calidad del agua, en la siguiente tabla se estipula los valores según el ICA.

Tabla 2.

Categoría ICA

Categorías de Valores que puedes 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: Cruz & Ortega, (2020).

Índice de contaminación – ICOs

A continuación, se establecieron los cuatro índices de contaminación que fueron aplicados para identificar la contaminación del río Guachicos. Según sus fórmulas.

Figura 9.

Rango establecido para los índices de contaminación -ICOs

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

Fuente: Cruz & Ortega, (2020).

Índice de contaminación por Mineralización - ICOMI

Según Ramírez, Restrepo & Viña, (1997), el ICOMI es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables, las cuales se define en un rango de 0-1, índices próximos a cero (0) reflejan muy baja contaminación, y los índices cercanos a 1 lo contrario”. Para realizar esta operación se empleó el paso a paso de la siguiente manera:

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

– $I_{CONDUCT}$ = Se obtiene a partir de la siguiente expresión

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

$$I_{Conduct} = 10^{\text{Log } I.conduct}$$

conductividad mayores a $270 \frac{\mu S}{cm}$ tiene un índice de conductividad = 1

– I_{DUREZA} = Se obtiene a partir de la siguiente expresión

$$\text{Log}_{10}I_{Dureza} = -0,09 + 4,40\text{Log}_{10}. \text{dureza} (g. m^{-3})$$

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

durezas mayores a $110 g. m^{-3}$ tiene $I_{Dureza} = 1$

durezas menores a $30 g. m^{-3}$ tiene $I_{Dureza} = 0$

– $I_{ALCALINIDAD}$ = Se obtiene a partir de la siguiente expresión

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

alcalinidad mayores a 250 g.m^{-3} tiene $I_{Alcal} = 1$

alcalinidad menores a 50 g.m^{-3} tiene $I_{Alcal} = 0$

Índice de contaminación por materia orgánica - ICOMO

Se realizó la fórmula de la siguiente manera:

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Coliformes} + I_{\% \text{ Oxígeno}})$$

– I_{DBO} = Se obtiene a partir de la siguiente expresión

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

DBO mayores a 30 g.m^{-3} tiene $I_{DBO} = 1$

DBO menores a 2 g.m^{-3} tiene $I_{DBO} = 0$

– $I_{COL.TOT}$ = Se obtiene a partir de la siguiente expresión

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

coliformes totales mayores a $20.000 \text{ NMP. } 100 \text{ cm}^{-3}$ tienen $I_{COL.TOT} = 1$

coliformes totales menores a $500 \text{ NMP. } 100 \text{ cm}^{-3}$ $I_{COL.TOT} = 0$

– $I_{OXIGENO}$ = Se obtiene a partir de la siguiente expresión

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

$\text{oxígeno } (\%)$ mayores a 100% tiene $I_{Oxígeno} = 0$

Nota: los porcentajes de saturación mayores de 100% , en sistemas loticos indica que tienen una buena capacidad de aireación, pero para sistemas lenticos refleja problemas de

eutrofización, por lo tanto, para porcentajes mayores de 100% se sugiere aplicar la siguiente ecuación (Restrepo & Viña, 1997).

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

Índice de contaminación por sólidos suspendidos - ICOSUS

Se aplicó la siguiente fórmula:

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

solidos suspendidos mayores a 340 g.m^{-3} tiene $ICOSUS = 1$

solidos suspendidos menores a 10 g.m^{-3} tiene $ICOSUS = 0$

Estrategias de Gestión Integrada del Recurso Hídrico GIRH

La estrategia de uso eficiente y sostenible del agua fue orientada a fortalecer la implementación de procesos y tecnologías de ahorro y el uso eficiente y sostenible del agua, entre los actores principales que generen actividades antrópicas al recurso hídrico, así como, promover el cambio de hábitos no sostenibles de uso del recurso hídrico entre los usuarios. Las estrategias de Gestión Integral del Recurso Hídrico GIRH van enfocadas a la demanda, calidad, oferta y riesgo, fortalecimiento institucional y gobernabilidad, de conformidad con lo establecido en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (MVADT, 2010).

Resultados y Discusión

Variabilidad de la calidad de agua a partir de las determinaciones índices de calidad de agua

Disponibilidad Hídrica

A continuación se evidencia fotografías del proceso de instalación de las escalas limnimétricas de las cuales fueron ancladas en tabloncillos, soportadas con hierro, e instaladas en la sección del cauce del río Guachicos.

Figura 10.

Proceso de instalación de las escalas Limnimétricas



Fuente: Autores

En el primer mes de monitoreo del nivel del agua no se presentó ningún inconveniente en la observación, pero cuando llovía en la parte alta el nivel del agua aumentaba y su color se tornaba café y turbia, se evidencia un olor fétido y se observaba residuos sólidos; en cambio el segundo mes, la observación fue más compleja ya que se presentó bastantes días lluviosos lo cual el nivel del agua aumento hasta el tope de la escala

limnimétrica y se evidenció bastante turbulencia lo que causo daño a las escalas y el movimiento del punto de monitoreo, por ende se instaló una nueva escala para continuar con el monitoreo del nivel del agua.

A continuación, se presentan fotografías sobre la creciente presentada en el río Guachicos.

Figura 11.

Creciente en el Rio Guachicos y daños a las Escalas Linnimétricas.



Fuente: Autores

En las siguientes fotografías se evidencia el registro de las tomas de lectura del nivel del agua con sus respectivas observaciones.

Figura 12.

Registro de lectura horaria de los niveles del agua

UNAD
Universidad Nacional Abierta y a Distancia

45
Años

Evaluación de la calidad del agua superficial a través de los índices ICA, ICAM, ICOMO e ICODUS. Caso de estudio: microcuenca del río Guachicos. Fuente abastecedora del acueducto del municipio de Pitalito-Huila

Registro de lecturas diarias del nivel de agua del río Guachicos

Mes: Octubre Año: 2021

DIA	HORA	NIVEL (cm)	OBSERVACIONES
1	6 am - 6 pm	75 - 75	
2	6 am - 6 pm	85 - 75	lluvia toda la noche, agua en parte alta río
3	6 am - 6 pm	75 - 75	
4	6 am - 6 pm	75 - 75	
5	6 am - 6 pm	70 - 65	lluvia toda la noche hasta tarde
6	6 am - 6 pm	75 - 75	
7	6 am - 6 pm	80 - 75	lluviano en la mañana
8	6 am - 6 pm	80 - 75	lluviano en la mañana
9	6 am - 6 pm	70 - 60	lluvia toda la noche
10	6 am - 6 pm	75 - 75	
11	6 am - 6 pm	75 - 75	
12	6 am - 6 pm	75 - 75	
13	6 am - 6 pm	85 - 90	lluvia en la parte alta.
14	6 am - 6 pm	90 - 95	lluviano todo el día
15	6 am - 6 pm	80 - 75	
16	6 am - 6 pm	80 - 85	lluvia en la parte alta
17	6 am - 6 pm	120 - 120	hubo una crecida
18	6 am - 6 pm	120 - 120	el río estaba muy turbio y con
19	6 am - 6 pm	110 - 110	el río estaba crecido

UNAD
Universidad Nacional Abierta y a Distancia

45
Años

DIA	HORA	NIVEL (cm)	OBSERVACIONES
20	6 am - 6 pm	70 - 75	
21	6 am - 6 pm	70 - 75	
22	6 am - 6 pm	80 - 80	
23	6 am - 6 pm	85 - 85	
24	6 am - 6 pm	75 - 75	
25	6 am - 6 pm	75 - 75	
26	6 am - 6 pm	75 - 75	
27	6 am - 6 pm	70 - 75	
28	6 am - 6 pm	75 - 75	
29	6 am - 6 pm	75 - 75	
30	6 am - 6 pm	75 - 75	
31	6 am - 6 pm	75 - 75	

Nombre del observador responsable: [Firma]

C.C: [Firma]

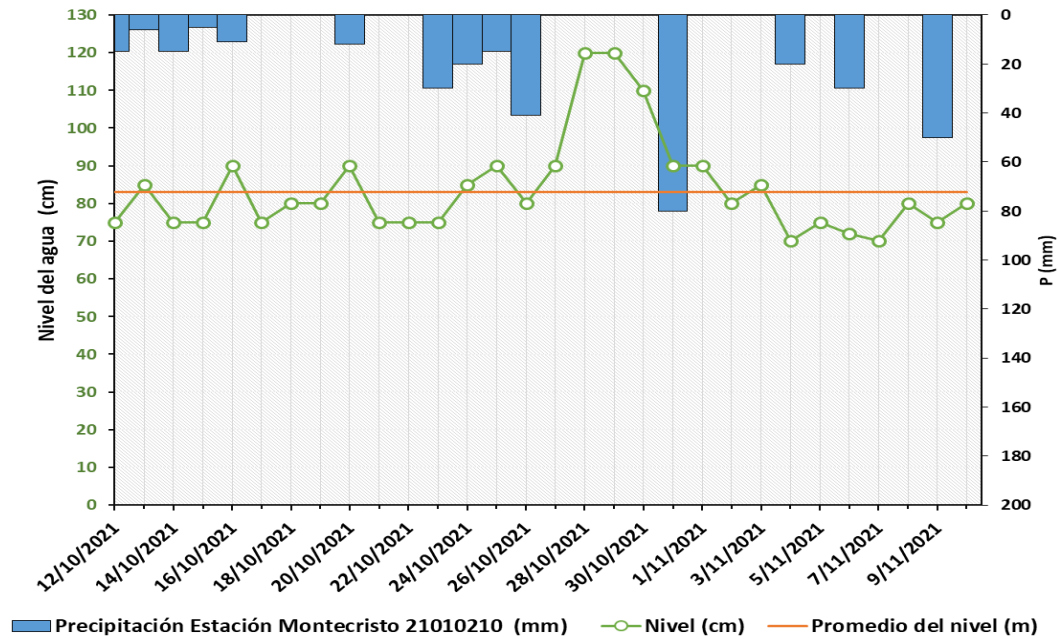
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
CCAV Pitalito, Dirección Av. Pitalito # 19 - 50 bar
Teléfono: 8360104

Fuente: Autores

En la siguiente figura, se presenta la variación del nivel del agua durante el periodo de toma de lecturas en la microcuenca del río Guachicos, del municipio de Pitalito Huila. Se evidencia la variación del nivel de agua durante el tiempo de toma de registros a partir de las dos lecturas diarias. En este análisis fue considerada la precipitación registrada en la estación de Montecristo del año 2021, representadas con las barras azules.

Figura 13.

Variación del nivel del agua durante el periodo de toma de lecturas del nivel del agua de las Escalas Limnimétricas.

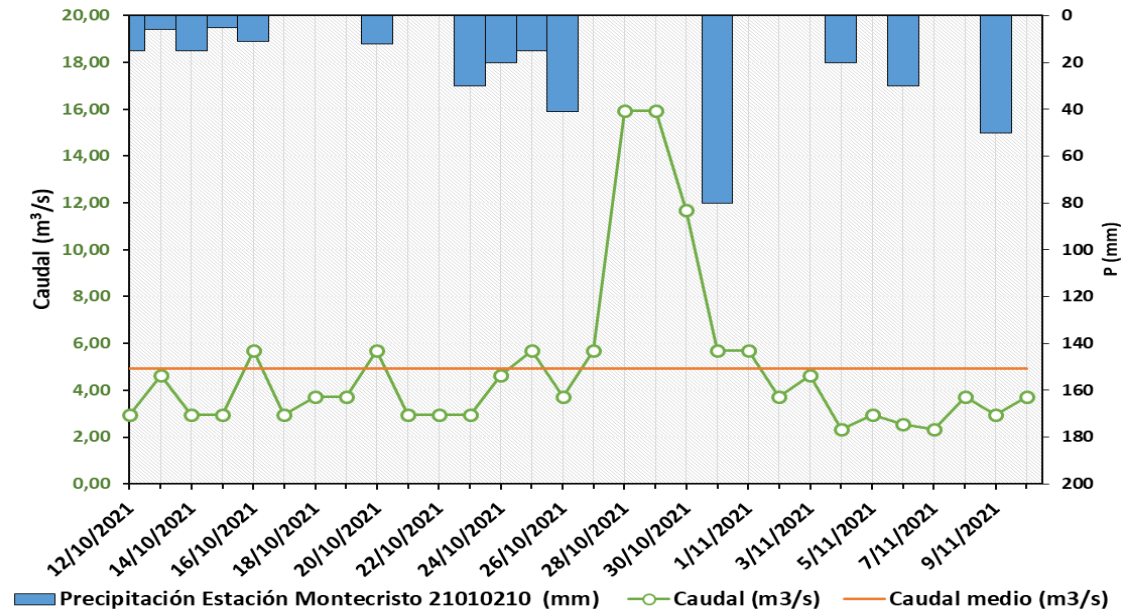


Fuente: Autores

A partir de la curva de calibración del estudio, fue obtenido el hidrograma correspondiente para los niveles diarios registrados. A partir de esta curva se obtuvo el caudal máximo y caudal medio, con lo cual se puede analizar en la figura 14.

Figura 14.

Hidrograma generado a partir de la curva de calibración



Fuente: Munar (2019).

A partir de la figura, se puede observar que los días de aumento de precipitación, se presenta un aumento en los niveles de agua, con cierto tiempo de retardo. A este tiempo se le conoce en hidrología como *Tiempo de respuesta o "lag"*, el cual es el tiempo transcurrido desde el centro de gravedad de hietograma (aguacero) hasta la punta del hidrograma y representa el retraso de la escorrentía (Romera & Santos, 2015). En el hidrograma también se observan las variaciones del caudal a partir de las precipitaciones de la estación de Montecristo, donde se puede estimar el caudal máximo $Q=16 \text{ m}^3/\text{s}$, y un caudal medio $Q=5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Evaluación de la calidad del Agua

A continuación, se presentan los registros fotográficos de los monitoreos de calidad del agua, en el río Guachicos:

Monitoreo 1 Fecha 19 / 09/ 2021 Hora 9:30 Am

Figura 15.

Toma muestras de calidad del Agua.



Fuente: Autores

Monitoreo 2 Fecha 23 / 10/ 2021 Hora 8:30 Am

Figura 16.

Medición de parámetros de calidad del agua en campo



Fuente: Autores

Monitoreo 3 Fecha 20 / 11/ 2021 Hora 7:30 Am

Figura 17.

Toma de muestras de agua para su posterior análisis



Fuente: Autores

Monitoreo 4 Fecha 10 / 12/ 2021 Hora 8:00 Am

Figura 18.

Medición de profundidad.



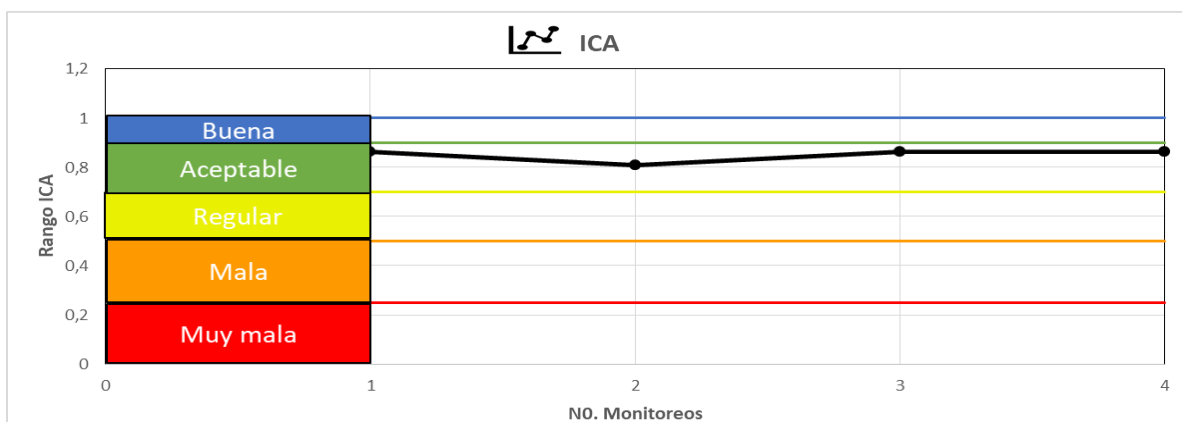
Fuente: Autores

Índice de Calidad de Agua - ICA

A continuación, se presentada los resultados obtenidos de los cuatro monitoreos para el índice de Calidad de Agua – ICA.

Figura 19.

Índice de Calidad del Agua - ICA para los cuatro Monitoreos realizados en el Rio Guachicos.



Fuente: Autores

En los cuatro monitoreos realizados, el Índice de Calidad del Agua- ICA se mantuvo dentro de los límites **Aceptables** de la calidad del agua, como se puede estimar en la figura 8. Por tanto, no se evidencia riesgo sanitario a partir de este indicador. Es de destacar que en el río Guachicos, el IDEAM ha venido evaluando la calidad del agua a partir del ICA desde el año 2006 hasta el año 2013, donde se evidencia que los rangos estimados están dentro de los términos de un agua Aceptable (Trujillo et al., 2020).

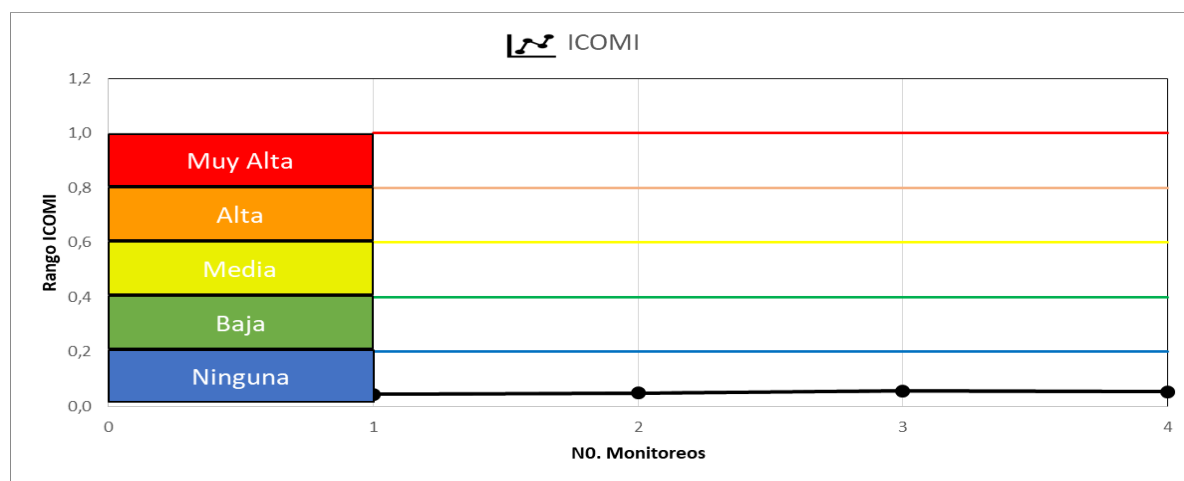
Cálculo de los Índices de contaminación ICO

Índice de contaminación por Mineralización - ICOMI

A continuación, se presentan los resultados de los cuatro monitoreos para el Índice de Contaminación por Mineralización- **ICOMI**.

Figura 20.

Índice de Contaminación por Mineralización - ICOMI para los cuatro Monitoreos realizados en el Río Guachicos.



Fuente: Autores

Como se puede apreciar en la figura 9, el índice de contaminación por mineralización -ICOMI, según rango establecido para los índices de contaminación -ICOs, es cercano a

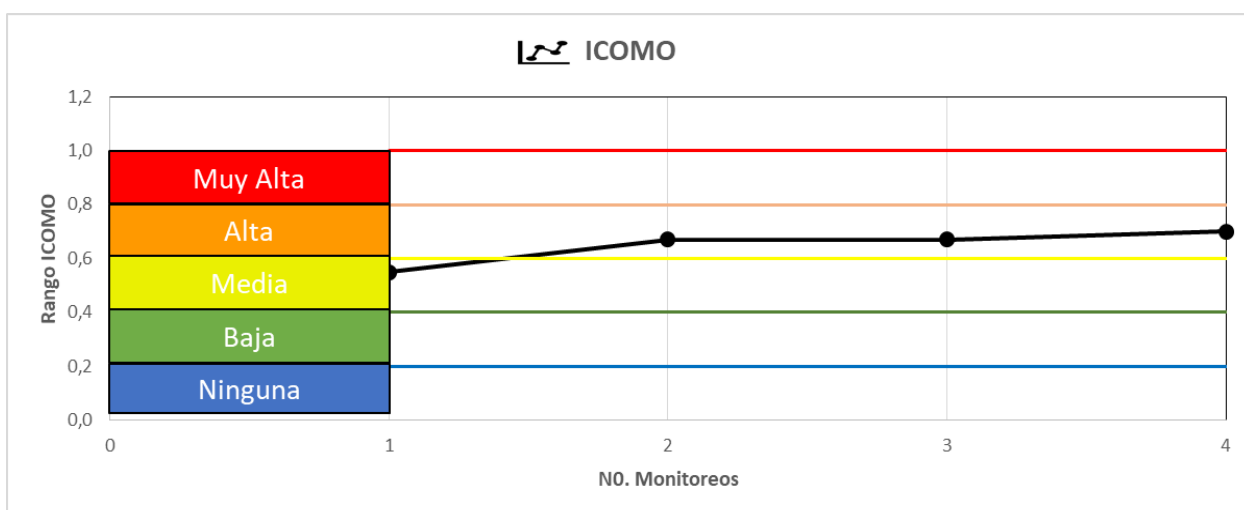
cero. Esto es debido a que la concentración de sólidos disueltos, dureza y alcalinidad es baja. Por tanto, no se evidencia riesgo sanitario por Mineralización en la fuente del río Guachicos.

Índice de Contaminación por Materia Orgánica – ICOMO

A contaminación se presenta los resultados del ICOMO, para los cuatro monitoreos realizados en el río Guachicos fuente abastecedora del acueducto de Pitalito Huila.

Figura 21.

Índice de Contaminación por Materia Orgánica - ICOMO para los cuatro Monitoreos realizados en el Río Guachicos.



Fuente: Autores

De acuerdo con los resultados obtenidos, el Índice de Contaminación por Materia Orgánica-ICOMO presenta valores medios y altos, especialmente en los monitoreos dos (2), tres (3) y cuatro (4). Este comportamiento puede ser debido a la ausencia de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales-PTAR, en el corregimiento de Bruselas, que está ubicado aguas arriba de la bocatoma del Municipio de Pitalito, en donde las aguas residuales domésticas son descargadas directamente al río Guachicos. Esto se ve reflejado en un alto contenido de coliformes totales y DBO. Así mismo, se evidencia que en la parte alta del río

Guachicos existen diversos cultivos agrícolas, lo que se asume que todos los residuos que se utilizan para su producción agrícola como fertilizantes, plaguicidas, herbicidas entre otros, son descargados en la fuente sin ningún tratamiento.

En el estudio de Trujillo et al., (2020): “*Evaluación de la calidad del agua en la fuente abastecedora de Pitalito –Huila: Rio Guachicos y sus afluentes principales, utilizando los índices de contaminación e índice de calidad del agua*”, los resultados obtenidos sobre el Índice de Contaminación por Materia Orgánica - ICOMO, presentan un alto índice de contaminación, ya que en ese año se registró un incremento gradual, con valores por encima de 0,6, que según el rango establecido para los índices de contaminación -ICOs es alta. Esta problemática se presenta principalmente por contaminantes con contenidos de fósforo, compuestos aromáticos, entre otros.

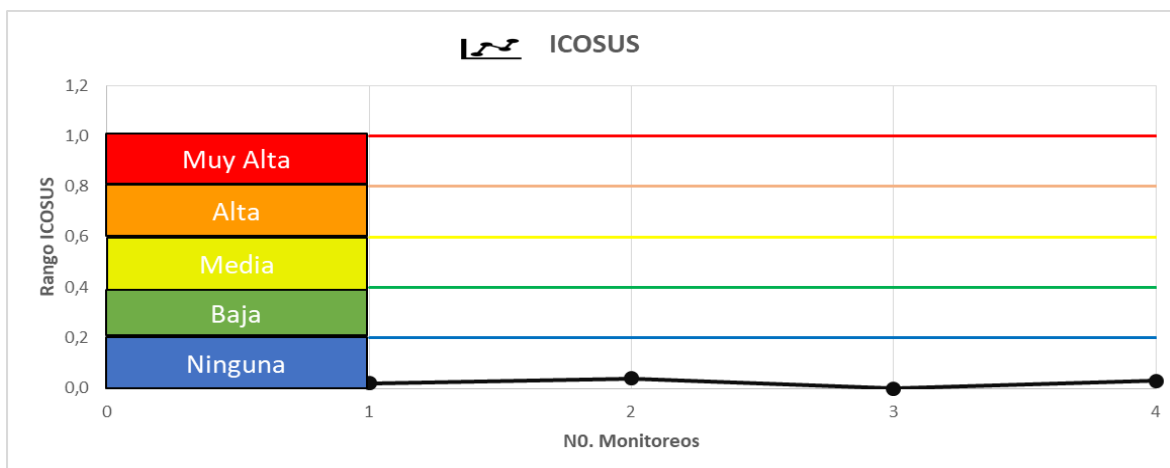
Además, Según Trujillo et al (2020), en los años 2014 y 2015 se realizaron estudios de los índices de contaminación- ICOs en cuerpos de agua, donde los resultados del ICOMO presentan altas cargas de materia orgánica, superando un 53% en presencia entre otros contaminantes, de lo cual se relaciona que estos contaminantes tengan mayor presencia en los cuerpos de agua donde las actividades antrópicas y agrícolas son significativas.

Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos – ICOSUS

A contaminación, se presentan los resultados del **ICOSUS**, para los cuatro monitoreos realizados en el río Guachicos fuente abastecedora del acueducto de Pitalito Huila.

Figura 22.

Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos -ICOSUS para los cuatro Monitoreos realizados en el Río Guachicos.



Fuente: Autores

En este último resultado sobre la contaminación por sólidos suspendidos – **ICOSUS**, se puede inferir que no se refleja ningún riesgo sanitario para la salud ni actividades agrícolas, debido a que los valores son próximos a cero.

Analizando los resultados obtenidos de los índices ICA, ICOMI e ICOSUS, se puede concluir que nuestros resultados son similares a los encontrados previamente por Munar (2019) en el año 2019 y 2020, donde se evidencia que no existe ningún riesgo sanitario en la calidad de agua, a partir de estos indicadores. Así mismo, en el estudio de Cruz & Ortega, (2020), se concluye que el índice de calidad del agua- ICA, el ICOMI e ICOSUS, se encuentran dentro de la categoría aceptable, no mostrando ningún tipo riesgo sanitario.

Es de destacar que los aportes puntuales de aguas residuales de origen doméstico, agrícola y pecuario sobre las corrientes y en cercanías a las áreas de nacimiento y fuentes

abastecedoras para el consumo humano, ponen en gran riesgo las condiciones de salubridad de la comunidad. De igual forma la mala disposición de los residuos sólidos en el área de la cuenca contribuyen a la disminución de los niveles de calidad de vida de la población, así como el detrimento del patrimonio natural con la que cuentan las futuras generaciones del área. (CAM, 2012).

Estrategias de Gestión Integrada del Recurso Hídrico GIRH

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y la Política Nacional de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), se tuvo en cuenta que la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) busca orientar el desarrollo de políticas públicas en materia de recurso hídrico, a través de una combinación de desarrollo económico, social y la protección de los ecosistemas (Minambiente, s.f.).

En este contexto, se pueden implementar estrategias que sirvan como herramientas para la calidad del agua y que permitan el desarrollo continuo de la población. Las siguientes estrategias de gestión del recurso hídrico, de acuerdo con Minambiente (2010) están categorizadas en grupos correspondiente a la planeación, la administración, el seguimiento y monitoreo, y, finalmente el manejo de conflictos.

Planeación

La planeación requiere de estrategias e instrumentos para el aprovechamiento del agua, para la toma de decisiones y donde la ciudadanía tenga una participación más activa. Actualmente la cuenca del río Guarapas cuenta con sus respectivos planes como son el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca (POMCA), el Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR), Plan de Manejo (PM) y el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) donde los siguientes instrumentos de planeación se deben elaborar y relacionar.

- Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV)

- Plan de Ordenamiento Forestal (POF)
- Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH)
- Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento (RAS)

Administración

La falta de gestión del recurso hídrico y de programas dirigidos a toda la comunidad en general para la concientización del aprovechamiento del agua, según el contexto local requiere de estrategias de participación ciudadana, educación ambiental y manejo de aguas subterráneas ya que no se dispone de este último. Actualmente el IDEAM, el SGC, el MADS trabajan conjuntamente desarrollando la Guía Metodológica de identificación y delimitación de zonas de recarga de sistemas acuíferos potenciales, publicación que estará al servicio de las Autoridades Ambientales Regionales (IDEAM, 2018, p. 43).

Seguimiento y monitoreo

Realizar el seguimiento y monitoreo de la microcuenca del río Guachicos es una estrategia viable y necesaria a falta de recursos económicos para instalar estaciones de monitoreo en la microcuenca del río Guachicos para evaluar la calidad del agua, a pesar como comenta la CAM (s,f) actualmente se cuenta con una sola estación climatológica que se encarga de medir la temperatura media, mínima y alta, la humedad relativa, nubosidad, evaporación, brillo y radiación solar y precipitación. Es importante tener un amplio registro de cada parámetro para la consulta y posteriores estudios de la microcuenca. En la Tabla 3 se indica las líneas de acción como estrategias para el seguimiento y monitoreo de la microcuenca del río Guachicos.

Tabla 3.

Líneas de acción para la estrategia de seguimiento y monitoreo. Adaptado de “Diagnóstico Integral del Recurso Hídrico en la microcuenca del río Guachicos, fuente abastecedora del acueducto de Pitalito, Huila”

No	Línea de Acción
1	Reducir en los aportes de contaminación puntual y difusa implementando a través de acciones de reducción en la fuente, producción limpia y tratamiento de aguas residuales
2	Eliminar la disposición de los residuos sólidos a los cuerpos de agua, en el marco de lo establecido en los planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS)
3	Formular e implementar el programa de monitoreo hídrico en la microcuenca
4	Articular y optimizar las redes y los programas de monitoreo regional del recurso hídrico superficial y subterráneo, mediante acciones como la integración de redes de monitoreo, el abastecimiento de reglamentos y protocolos de monitoreo de la calidad del recurso hídrico, entre otras.
5	Incrementar y/o mejorar los sistemas de monitoreo, seguimiento y evaluación de los vertimientos, de tal forma que permitan conocer periódicamente su evolución, así como, la calidad y el estado de los cuerpos de agua receptores.

Fuente: Munar (2019)

Manejo de conflictos

Para el aprovechamiento del recurso hídrico es necesario utilizar herramientas que promuevan un uso eficiente y equitativo dentro de la población que está establecida en las zonas rurales y urbanas y que desarrolla sus actividades en las cercanías del cauce del río

Guachicos. Las herramientas para el manejo de conflictos se deben implementar por parte de los entes territoriales y ambientales como estrategias que puedan contribuir a la solución de los conflictos, necesidades, asequibilidad y calidad del agua; según el plan de ordenamiento territorial para el uso del suelo y de la cuenca.

En este sentido, para el manejo de conflictos de la microcuenca del río Guachicos, se propone las siguientes estrategias.

Capacitación del sector agrícola y pecuario para la implementación de buenas prácticas agropecuarias enfocadas a la agroecología y sostenibilidad como un medio para la preservación de recurso hídrico y del suelo, donde de igual manera se tendrá en cuenta el reciclaje de nutrientes y residuos, la reforestación, la variación biológica, el manejo de poblaciones desfavorables y el uso de energías renovables.

Integrar en el actual plan de manejo de la gestión de residuos sólidos actividades de reciclaje y compostaje con participación de la comunidad que se capacitara en la separación en la fuente de los residuos orgánicos e inorgánicos para su aprovechamiento, y así disminuir la presencia de estos, y, la contaminación en los cuerpos de agua.

Inversión en la gestión integral del recurso hídrico para mitigar la afectación de la calidad del agua por el vertimiento de aguas residuales al cauce del río Guachicos, como una estrategia donde las instituciones ambientales como la CAM y la alcaldía del municipio de Pitalito desarrollen programas de saneamiento hídrico rural por medio de sistemas como pozos o tanques sépticos; y para la zona urbana del corregimiento de Bruselas se disponga de todos los recursos económicos y técnicos para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales ya que no se dispone de esta.

Otras estrategias que se pueden utilizar para dar continuidad a este trabajo son:

- Sugerir incrementar la utilización de tecnologías ahorradoras y de uso eficiente del

agua.

- Sugerir la adopción de programas de reducción de pérdidas de agua y de mejoramiento de la infraestructura según sea el caso
- Desarrollar e implementar mecanismos que promuevan cambios en hábitos de consumo no sostenibles en los usuarios del agua.
- Oferta: Conservar los sistemas naturales y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país
- Demanda: Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país
- Calidad: Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico
- Riesgo: Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad el agua
- Fortalecimiento Institucional y Gobernabilidad: se propone el diseño de medidas para garantizar participación de todos los actores involucrados en la gestión integral del recurso hídrico.

Conclusiones

Este trabajo se realizó con el propósito de evaluar la calidad de agua superficial de la microcuenca del río Guachicos, fuente abastecedora del acueducto del municipio de Pitalito Huila, con la intención de analizar las condiciones en las que se encuentra la fuente hídrica, para así poder proponer estrategias de gestión integral del recurso hídrico, encaminadas al mejoramiento de la calidad del agua y conservación del recurso.

La disponibilidad hídrica se obtuvo a través de la información hidrométrica diaria, de lo cual se realizó un seguimiento continuo del nivel del agua por medio de lecturas a escalas limnimétricas. A partir de los resultados obtenidos, se pudo evidenciar que el nivel del agua en el tiempo de monitoreo obtuvo un promedio de 80 a 90 cm. Analizando los resultados obtenidos sobre el hidrograma, la fuente hídrica del río Guachicos demuestra una rápida respuesta hidrológica, donde la cuenca es sensible y responde de manera rápida a los eventos de precipitación. Esta información es clave para tener una mejor comprensión del comportamiento de la cuenca y poder emitir alertas sobre amenazas de crecientes e inundaciones que se pueden presentar. Con relación a los caudales estimados a partir de la curva de calibración de caudales o curva de descarga, el caudal máximo estimado fue $Q = 16 \text{ m}^3/\text{s}$, y el caudal medio de $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta variación obedece principalmente a la dinámica de las precipitaciones en la parte alta del río Guachicos.

En los resultados obtenidos de los cuatro monitoreos realizados en el año 2021, a través de los índices de la calidad del Agua-ICA, el Índice de contaminación por Mineralización-ICOMI, y el índice de contaminación por Materia Orgánica-ICOMO y el índice de contaminación por Sólidos Suspendidos - ICOSUS, se puede deducir que el ICA, ICOMI e ICOSUS, están dentro de los rangos permisibles según el grado de contaminación. Sin embargo, el índice ICOMO refleja una alta contaminación de materia orgánica sobre todo

en los monitoreos dos (2), tres (3) y cuatro (4). Con estos resultados se puede inferir que existe gran cantidad de materia orgánica en la fuente que altera su composición biológica natural, ya que las aguas residuales generadas por el corregimiento de Bruselas y comunidades adyacentes al río Guachicos son directamente descargadas, sin ningún tipo de tratamiento. Así mismo, existen grandes extensiones de cultivos en la parte alta de la cuenca, donde predominar el cultivo de café, generando contaminación por la descarga de residuos generados del proceso de beneficio. Por otro lado, existen otros cultivos como gradilla, mora y lulo, que para su producción se le agrega grandes cantidades de agroquímicos, de los cuales son sustancias tóxicas para los cuerpos de agua. Por lo anterior es importante proyectar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR en el corregimiento de Bruselas y que cada vivienda rural cuente con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales.

Por último, con relación a las estrategias de gestión integrada del recurso hídrico - GIRH apoyadas en líneas fundamentales de las cuales van encaminadas a la oferta, calidad, demanda, riesgo, fortalecimiento institucional y gobernabilidad, es necesario promover la gestión, el uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio para la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social. Además, es necesaria una mayor presencia de las instituciones ambientales para orientar a la comunidad sobre el ahorro y uso eficiente del agua, como también de estrategias que ayuden al tratamiento de aguas servidas, para mitigar el riesgo de enfermedades a la población que utiliza este servicio.

Referencias Bibliográficas

- Barrenechea, A. (2004) Aspectos Físicoquímicos de la Calidad del Agua, capítulo 1.
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Caho, C; & López, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las 8 metodologías UWQI y CWQI. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v12n2/1909-0455-pml-12-02-00035.pdf>
- CAM - POMCH GUARAPAS. (2009). Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Rio Guarapas. <https://cam.gov.co/recurso-hidrico/pomch/category/81-rio-guarapas.html?download=380:pomch-rio-guarapas-parte-i>
- CAM – Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (s,f) Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Guarapas. <https://cam.gov.co/recurso-hidrico/pomch/category/81-rio-guarapas.html?download=381:pomch-rio-guarapas-parte-ii>
- Cruz, A; & Ortega, J. (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
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36715/cacruz.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Decreto 1323 de (2007) y el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico (Decreto 1324 de 2007).
- Elgamal, A., Reggiani, P., & Jonoski, A. (2017). Impact analysis of satellite rainfall products on flow simulations in the Magdalena River Basin, Colombia. Journal of Hydrology: Regional Studies, 9, 85–103. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.09.001>

EMPITALITO – Empresas de servicios públicos. (2021). Fuente de captación.

<https://empitalito.gov.co/es/servicios/fuente-de-captacion/>

EMPITALITO – Empresas de servicios públicos. (2021). Bocatoma.

<https://empitalito.gov.co/es/servicios/bocatoma/>

ENA. (2018). Estudio Nacional del Agua. http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

Garcia, C., Garcia, J., Rodriguez, J., Pacheco, R; & Garcia, M. (2018) Limitaciones del IRCA como estimador de calidad del agua para consumo humano.

<https://www.scielo.org/pdf/rsap/2018.v20n2/204-207/es>

IDEAM. (2007) Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia.

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb#:~:text=La%20Demanda%20Qu%C3%ADmica%20de%20Ox%C3%ADgeno,agente%20oxidante%2C%20temperatura%20y%20tiempo.>

IDEAM. (2007) Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua.

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021172/Protocoloparaelmonitoreoyseguimientodelagua.pdf>

IDEAM. (2013) Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA).

http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031

IDEAM (s.f) Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA). Hoja de metodología (versión 1,1).

<http://www.ideam.gov.co/documents/11769/646961/3.02+HM+%C3%8Dndice+Calidad+Agua.pdf/310580af-1ed1-4cbf-ade3-9d8c529c4220>

IDEAM (2006) Conductividad Eléctrica en Aguas por el Método Electrométrico

Subdirección de Hidrología grupo-Laboratorio de Calidad Ambiental.

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>

IDEAM (2020) Instructivo de Toma y Preservación de Muestras Sedimentos y Agua

Superficial para la Red de Monitoreo de Calidad del IDEAM.

<http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I004+INSTRUCTIVO+DE+TOMA+Y+PRESERVACI%C3%93N+DE+MUESTRAS+SEDIMENTOS+Y+AGUA+SUPERFICIAL+PARA+LA+RED+DE+MONITOREO+DE+CALIDAD+DEL+IDEAM+v3.pdf/477bbe4a-5825-49c8-9961-10805a3c2288?version=1.0>

Informe de políticas de ONU-AGUA. (2019) Sobre el Cambio Climático y el Agua.

file:///D:/INFO%20COMPS/Downloads/UN-Water_PolicyBrief_Water_Climate-Change_ES.pdf

Lizcano, H. (2007). Guachicos, un cuerpo de agua en Riesgo de sequía. Leo Noticias,

Empresas Públicas de Pitalito. Pitalito, Colombia.

Ley 99 de 1993 y el Decreto-Ley 216 de 2003, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y

Desarrollo Territorial –MAVDT, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

MADS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012). Decreto 1640. Bogotá

D.C.

MVADT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010) Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

<https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/plan-hidrico-nacional/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico.pdf>

Minambiente - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Cinturón andino.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Cinturo%CC%81n-Andino.pdf>

Minambiente. (s,f) Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico.

<https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/>

Minambiente. (2010) Política Nacional para la gestión Integral del Recurso Hídrico.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf>

Minambiente. (1993) *Ley 99 de 1993*. [https://www.minambiente.gov.co/wp-](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf)

[content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf)

Minsalud. (2007). *Decreto 1575 de 2007*.

https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n_2115_de_2007.pdf

Munar, A. M. (2019). Diagnóstico Integral del Recurso Hídrico en la microcuenca del río Guachicos, fuente abastecedora del acueducto del municipio de Pitalito, Huila, según Contrato No 178 de 2019

ONU-DAES - Departamentos de asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas

(2014) Decenio Internacional para la acción el agua fuente de Vida 2005 - 2015.

<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

OMS (2006). Guías para la calidad del agua potable.

https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf

Ramírez, Restrepo & Viña. (1997) Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-

[53831997000100009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009)

POMCA – Actualización Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Rio Guarapas.

(2019). CAM – Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena.

POMCA – Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica. (2019).

Caracterización Básica y del Sistema Biofísico.

POMCA – Actualización Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Rio Guarapas.

(2009). CAM – Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena.

Plan de Desarrollo Municipio de Pitalito. (2016 – 2019).

https://www.alcaldiapitalito.gov.co/normatividadvigente/Acuerdo_022-2016.pdf

UNAD - Universidad Nacional Abierta y a Distancia (2018a). Estatuto general.

<https://sgeneral.unad.edu.co/normatividad>

UNAD - Universidad Nacional Abierta y a Distancia (2018b). Líneas de Investigación

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente.

<https://academia.unad.edu.co/ecapma/investigacion-y-productividad>